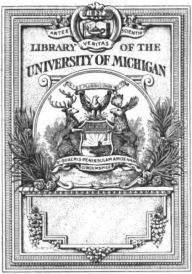
B 3 9015 00220 232 6
University of Michigan – BUHR

Storage
Nat. Sci.
III
2
.A6



Digitized by Google

Storage
Nat.
TN
2
.A6

Digitized by Google

ANNALES

DES MINES

Digitized by Google

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des travaux publics. Cette commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

MM.

LINDER, inspecteur général des mines, *président*.

CASTEL, inspecteur général.

HATON DE LA GOUPILLIÈRE, inspecteur général, directeur de l'École supérieure des mines.

ORSEL, inspecteur général.

RÉSAL, inspecteur général, professeur à l'École supérieure des mines.

LORIEUX, inspecteur général.

MASSIEU, d°

VILLOT, d°

PESLIN, d°

VICAIRE, inspect. gén., professeur à l'École supérieure des mines.

CARNOT, inspect. gén., inspecteur de l'École supérieure des mines.

AGUILLON, insp. gén., professeur à l'École supérieure des mines.

MM.

KELLER, insp. gén., secrét. de la Commission de la statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur.

CHEYSSON, insp. gén. des ponts et chaussées, professeur à l'École supérieure des mines.

POTIER, ingénieur en chef, professeur à l'École supérieure des mines.

LEDOUX, d°

DOUVILLÉ, d°

BERTRAND, d°

LE CHATELIER, d°

LODIN, d°

SAUVAGE, ingén. des mines, professeur à l'École supérieure des mines.

H. TERMIER, d°

DE LAUNAY, d°

ZEILLER, ingénieur en chef, *secrétaire de la Commission*.

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des travaux publics*, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé 10 francs par planche et par cent exemplaires ou fraction de centaine. Les planches extraordinaires sont payées au prix de revient.

Le brochage, y compris couverture imprimée et faux frais, est payé, pour une feuille seule ou une fraction de feuille, 3 francs le premier cent et 1f,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0f,25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

Les douze livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 120 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

Digitized by Google

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

NEUVIÈME SÉRIE

MÉMOIRES. — TOME VII.

PARIS

V^ve^ CH. DUNOD & P. VICQ, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Grands-Augustins, 49

1895

Digitized by Google

Digitized by Google

ANNALES

DES MINES

ÉTUDE

SUR

L'INDUSTRIE DES PHOSPHATES

ET SUPERPHOSPHATES

(TUNISIE — FLORIDE — SCORIES BASIQUES)

Par M. DAVID LEVAT,
Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines.

INTRODUCTION.

Considérations générales. — L'industrie des phosphates a pris dans ces dernières années un développement considérable, tenant à des causes multiples.

D'abord la baisse générale du prix de vente de cette matière première a produit un accroissement très rapide des demandes. Cette baisse a commencé à se produire lors de la découverte, datant déjà de quelques années, des riches gisements de l'Oise et de la Somme. Elle s'est accentuée depuis lors, et la mise en exploitation des grands dépôts phosphatés de la Floride qui ont commencé à envoyer leurs produits sur le marché en 1891, l'entrée en ligne de compte des phosphates de Tunisie, qui date

Digitized by Google

de cette année seulement, sont des facteurs qui contribuent pour une large part au maintien des cours actuels, qui sont à peu près les plus bas qui aient jamais été connus.

D'autre part, un nouveau produit fertilisant est tout récemment apparu sous la forme des scories phosphatées basiques dites « Scories Thomas », matière inconnue il y a peu d'années encore et dont le rôle, comme agent fertilisateur, paraît appelé à un grand avenir. On sait que ces scories sont produites, au cours du traitement, dans un convertisseur muni d'un garnissage basique, de fontes phosphoreuses obtenues par la fusion de minerais considérés jusqu'ici comme sans valeur à cause de leur teneur en phosphore, qui les rendait impropres au traitement dans le convertisseur acide ordinaire.

Il résulte de ces faits nouveaux une transformation dans l'industrie sidérurgique dont il est intéressant de se rendre compte : le déplacement de certaines usines qui se rapprocheront des gisements de minerais de fer phosphoreux, la faculté pour les hauts-fourneaux qui s'alimentent avec des minerais importés, de modifier leurs sources d'approvisionnements et leurs formules de lit de fusion; toutes ces questions méritent d'être examinées et donnent au côté métallurgique de l'industrie des phosphates un intérêt particulier.

Enfin, la diffusion des connaissances en général et des principes agronomiques en particulier, dans les classes agricoles des principaux pays civilisés, produit à des degrés divers, mais incontestables cependant, une tendance à l'emploi des engrais chimiques comme moyens de parer aux insuffisances de restitution à la terre des principes fertilisants. On sent, plus ou moins vaguement, que le moyen de conjurer les crises actuelles est dans l'augmentation du rendement du sol. Déjà, les capitaux font plus volontiers retour à la terre sous forme d'avance en engrais ;

Digitized by Google

tous les esprits clairvoyants en proclament la nécessité, et bien que nous ne soyons pas en France — du moins pour le moment — à la tête de ce mouvement, il est hors de doute que nous y participons de plus en plus. La preuve la plus certaine se trouve tout d'abord dans le succès des créations récentes, faites en vue du développement de l'instruction agricole à ses degrés divers dans notre pays, depuis l'Institut agronomique de Paris, jusqu'à ces stations agricoles départementales et communales, dont le nombre encore bien insuffisant, a déjà rendu tant de services. Cette preuve éclate encore davantage dans le succès inattendu des syndicats agricoles dont la création a permis, entre autres avantages, de moraliser le commerce des engrais et amené la disparition de certains intermédiaires qui, exploitant l'ignorance des agriculteurs, risquaient de jeter un discrédit complet sur l'emploi des engrais chimiques et d'enrayer par conséquent le mouvement de progrès, si désirable à tous égards, qui tend à en multiplier l'application raisonnée à tous les terrains.

Il paraît donc intéressant, à quelque point de vue qu'on envisage les questions multiples auxquelles se rattachent *la production et l'emploi des phosphates,* d'exposer l'état actuel de cette industrie.

Je n'insisterai pas dans le présent travail, sur le côté géologique de l'exploitation des phosphates. On trouvera dans la bibliographie très complète des publications relatives aux phosphates, insérée dans l'ouvrage de MM. Fuchs et de Launay, à laquelle je renvoie (*), la liste des principaux traités ou mémoires qui peuvent être utilement consultés pour tout ce qui concerne la géologie générale des gisements connus de phosphates. Je donnerai seulement

(*) Fuchs et de Launay. *Géologie appliquée*, t. I, p. 325 et suiv.

Digitized by Google

une monographie des phosphates de la Tunisie et de la Floride, qui n'ont pas encore été l'objet, dans cette Revue, d'une étude complète, vu la date toute récente de leur découverte et de leur mise en exploitation.

Pour la même raison, je n'adopterai pas pour cette étude, la division classique des phosphates d'après leur nature ou leur mode de gisement : apatite, phosphorite, nodules, craie phosphatée, etc. Je me contenterai, pour conserver à ce travail son caractère économique et industriel, de passer en revue les principaux pays producteurs, de rappeler brièvement pour chacun d'eux les conditions dans lesquelles s'exploitent les phosphates, leur prix de revient, leurs emplois, et les renseignements statistiques et commerciaux pouvant présenter de l'intérêt au point de vue de la consommation française.

Pour la France en particulier, il n'a pas été publié de travail d'ensemble sur les phosphates depuis le Mémoire annexé à la Statistique Minérale de 1887. Je me bornerai à indiquer, pour les départements producteurs, les modifications survenues depuis cette époque dans leurs exploitations, et je donnerai, pour la France en général, les statistiques de production et de consommation qui permettront de se rendre compte des accroissements de ces dernières années.

Dans un chapitre spécial, j'examinerai la question des phosphates industriels, c'est-à-dire des superphosphates, des phosphates précipités et concentrés, ainsi que les procédés de lavage ou d'enrichissement mécaniques des craies phosphatées. Enfin, j'étudierai la fabrication des scories phosphatées. Je serai ainsi amené à examiner la question d'assimilation de l'acide phosphorique par les végétaux, et l'emploi en agriculture des nouvelles matières fertilisantes, scorie moulue et même phosphates naturels moulus, concurremment avec les superphosphates.

Digitized by Google

Division de ce travail. — En résumé, je diviserai mon étude de la manière suivante :

Chapitre I. Phosphates naturels : 1° En France ; 2° Monographie des phosphates de l'Algérie et de la Tunisie.

Chapitre II. Phosphates naturels à l'étranger. Monographie des gisements de la Floride.

Chapitre III. Phosphates industriels. Superphosphates, phosphates précipités. Fabrication des scories basiques. Emploi comparé de ces divers fertilisants.

Chapitre IV. Conclusions et statistiques.

CHAPITRE I^er^.

PHOSPHATES NATURELS.

I. — France.

Depuis la publication de la « Statistique de l'Industrie *minérale en France pour l'année 1886* », dans laquelle une note additionnelle a donné pour les principaux gisements de notre pays des indications détaillées, la situation des exploitations existantes ne s'est que très peu modifiée en tant que mode d'exploitation, nature des gisements et teneur des phosphates extraits.

Les traits caractéristiques de la période de sept années qui s'est écoulée depuis cette époque, peuvent se résumer comme suit :

Baisse générale et continue de la valeur des phosphates, baisse qui atteint actuellement son maximum.

Épuisement graduel et prochain des phosphates riches, sableux, de la Somme et du Pas-de-Calais.

Développement des exploitations de phosphates pauvres de la craie grise.

Amélioration des procédés d'enrichissement de ces craies phosphatées, tant par des méthodes chimiques que par des moyens mécaniques.

Voici d'ailleurs un tableau résumant la production des phosphates dans les départements français pendant les années 1886 et 1889, date de la dernière statistique publiée :

Statistique des années 1886 et 1889.

DÉPARTEMENTS	ANNÉE 1886			ANNÉE 1889		
	Production	Prix moyen sur place	Valeur	Production	Prix moyen sur place	Valeur
	tonnes	fr.	fr.	tonnes	fr.	fr.
Ardèche	482	22,23	10.716	450	22,23	10.000
Ardennes (moulu)	8.600	26,82	230.000	10.000	28,10	281.000
— (brut)	410	17,00	6.970	»	»	»
Aveyron	3.906	30,00	117.000	3.368	31,85	107.304
Cher	2 900	55,00	159.500	3,000	55,00	165.000
Côte-d'Or	9.720	65,00	631.800	8.000	45,00	360.000
Drôme	7.033	30,04	208.245	8 000	30,00	240.000
Gard	13.097	73,92	968.067	9 000	42,00	378,000
Indre	3 000	55,00	165.000	1.930	55,00	106 150
Lot	25.900	32,72	847.400	18.150	44,94	815 650
Marne	»	»	»	} 57.000	} 32,00	} 1.824.000
Meuse	51.829	31,31	1.623.024			
— (brut)	15 812	17,24	272.660	»	»	»
Nord (brut)	1.000	40,00	40.000	9.750	40,00	390.000
Oise	»	»	»	27.000	40,00	300.000
Pas-de-Calais	29.576	40,33	1.190.310	179.600	30,00	5.388.000
— (Orville)	30.000	45,00	1.350 000	»	30,00	»
Haute-Saône	2.887	60,00	170.662	2.300	60,00	138.000
Somme	5.000	70,00	350.000	200.000	50,00	10.000.000
Tarn	435	33,00	14.355	»	»	»
Tarn-et-Garonne	»	»	»	»	»	»
Vaucluse	400	38,75	15.500	»	»	»
Vosges	1.680	34,00	57.400	600	35,00	21.000
Yonne	940	15,00	14.100	»	»	»
Totaux généraux	184.166	38,00	7.079.254	538.148	39,29	21.142.104
ALGÉRIE.						
Oran	50	40,00	2.000	1.500	»	»
Alger	»	»	»	»	»	»
Constantine	»	»	»	»	»	»
Totaux pour l'Algérie	50	40,00	2.000	1.500	»	»

Digitized by Google

Pour faire suite à ces renseignements, je vais donner les chiffres approximatifs de l'extraction actuelle des phosphates dans les principaux départements producteurs.

Je rappellerai succinctement, à ce propos, le mode de gisement et les teneurs moyennes des phosphates dans ces centres de production.

Nord de la France. — Pas-de-Calais. — Cambrésis. — Somme et Oise.

Dans ces départements, les gisements de phosphates se rencontrent tous dans le terrain crétacé, à trois étages distincts de ce terrain, qui sont, par ordre ascendant :

1° L'étage du Gault, auquel appartiennent les exploitations du Boulonnais.

Les nodules produits par ces terrains ont une teneur de 20 p. 100 d'acide phosphorique.

2° L'étage de la Craie glauconieuse ou Cénomanien, qui constitue le bassin phosphaté de Pernes et de Fauquembergues.

La teneur de ces phosphates est en moyenne de 25 *p. 100 en acide phosphorique.*

3° L'étage de la Craie supérieure (sous-étage de la craie à *Belemnites quadratus*), le plus important de tous.

C'est à cet horizon qu'appartiennent les riches gisements de Orville (arrondissement d'Arras), de Beauval (arrondissement de Doullens dans la Somme), et d'Hardivilliers, dans l'arrondissement de Clermont (Oise).

On trouve dans ces exploitations le phosphate riche en sable dans des poches situées à la partie supérieure de la craie, au-dessous de l'argile ou « bief » de la surface. Ces poches, qui sont l'objet d'une recherche et d'une exploitation des plus actives, n'ont qu'une durée limitée.

La teneur des phosphates riches qu'on en retire est de 35 p. 100 d'acide phosphorique.

En sus des poches de sables riches, il existe au sein des bancs de craie à Bélemnites, des parties suffisamment enrichies en phosphate de chaux, pour mériter la peine d'être extraites et traitées par un des procédés d'enrichissement dont je m'occuperai plus loin. Cette craie phosphatée dite aussi « craie grise », « craie tuffeau », etc., présente sur certains points des cubages considérables. La teneur ne dépasse guère 38 à 40 p. 100 de phosphate tribasique de chaux.

Au-dessous de 28 ou même 30 p. 100 de phosphate tribasique, ces craies sont considérées, dans la majeure partie des cas, comme sans valeur industrielle.

A Breteuil, près Clermont (Oise), par exemple, un banc extrêmement puissant de cette craie, avec une teneur de 32 p. 100 de phosphate tribasique, n'est exploité que sur une échelle très restreinte, la teneur du produit enrichi ne dépassant pas 45 p. 100 de tribasique (*).

Voici maintenant quelques renseignements statistiques que je dois à l'obligeance de M. Fèvre, ingénieur des mines, chargé du sous-arrondissement minéralogique de Béthune :

(*) Comme j'aurai fréquemment, au cours de cette étude, à évaluer la teneur des phosphates soit en acide phosphorique, soit en phosphate tribasique, j'adopterai pour passer de l'un à l'autre de ces types, le coefficient 2,18 qui représente à très peu de chose près le multiplicateur à employer pour passer de l'acide phosphorique au phosphate tribasique. Exemple :

Un phosphate à 30 p. 100 d'acide phosphorique contient

$$30 \times 2,18 = 65,40 \text{ p. 100 de tribasique.}$$

Un phosphate à 40 p. 100 de tribasique, contient

$$\frac{40}{2,18} = 18,30 \text{ p. 100 d'acide phosphorique.}$$

PAS-DE-CALAIS.

Production des phosphates naturels, de 1886 à 1893.

DÉPARTEMENT	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893		
								Production	Prix par tonne	Valeur
								tonnes	fr.	fr.
Pas-de-Calais.	59.576	70.000	95.000	179.600	211.500	157.200	150.300	135.000	40	5.400 000

On voit que la production est plutôt en décroissance.

L'ensemble de la production du Nord de la France, après avoir légèrement fléchi en 1891 et 1892, est revenue, en 1893 à ce qu'elle était en 1890, et ce, malgré la baisse considérable des prix de vente. C'est ce que démontre le tableau suivant qui donne, pour la période comprise entre 1889 et 1893, la production totale des phosphates dans les départements du Nord de la France :

ANNÉES	PRODUCTION
1889	393.467
1890	507.512
1891	339.740
1892	419.925
1893	509.317

Les chiffres de ce tableau ont été obtenus en additionnant les expéditions par chemin de fer avec celles par bateaux. Il est donc possible que certains transports, effectués par charrettes jusqu'aux usines à phosphate n'y soient pas compris, mais ces omissions ne portent que sur des quantités insignifiantes et on peut considérer les chiffres que je donne comme s'écartant peu de la réalité.

Voici maintenant le tableau de la production spéciale des deux départements de l'Oise et de la Somme, de 1886 à 1893 (*) :

(*) Communiqué par M. Badoureau, Ing. des mines à Amiens.

Digitized by Google

Production des phosphates naturels, de 1886 à 1893, dans la Somme et dans l'Oise.

DÉPARTEMENTS	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893		
								Production	Prix par tonne	Valeur
								tonnes	fr.	fr.
Oise......	»	3.000	14.000	27.000	55.000	65.000	78 000	14.000	28	392.000
Somme....	5.000	80.000	150.000	200.000	300.000	200.000	213.000	260.000	50	13.000.000
Totaux	5.000	83.000	164.000	227.000	355.000	265 000	291.000	274.000	49	13.392.000

Ardennes. — Meuse et Marne.

Ces phosphates proviennent, en presque totalité, de la base du Crétacé (sables verts). Ils y forment une zone continue qui s'étend depuis Novion-Porcien jusque dans l'Yonne.

L'épaisseur de la couche contenant les nodules ne dépasse guère 15 à 20 centimètres. On ne peut exploiter, aux prix actuels, que ceux qui ne demandent pas trop de découvert et même dans ce cas, on n'extrait les nodules que des parties les plus épaisses.

La production a plutôt diminué depuis 1890. La statistique des exploitations offre ici des difficultés particulières. Les travaux sont très instables, les chantiers se déplaçant dès que les morts-terrains deviennent trop puissants ou que la couche à nodules s'appauvrit un peu. Bon nombre d'exploitants s'abstiennent de faire la déclaration réglementaire. Enfin les bulletins d'expédition des gares de chemins de fer ne peuvent pas non plus faire foi d'une manière complète, vu que de nombreuses exploitations, celles de la Marne notamment, qui sont situées à proximité de la limite du département de la Meuse, transportent par charrettes les nodules bruts aux moulins du département de la Meuse où ils sont pulvérisés, mis en sacs et vendus. Ces matières échappent à la statistique.

Digitized by Google

On peut indiquer cependant, comme chiffre s'éloignant peu de la réalité, les productions suivantes :

Pour les Ardennes	9.000 à 10.000	tonnes par année.
Pour la Meuse et la Marne. .	55.000 à 60.000	—

Ensemble de ce groupe : 64.000 à 70.000 tonnes de nodules phosphatés.

Le prix actuel de vente, sur les lieux, de ces phosphates, est de 28 à 31 francs la tonne pour 50 p. 100 de tribasique.

Lot et départements voisins.

Le phosphate se présente en concrétions, sous forme de grandes poches ou de veines verticales au sein des plateaux calcaires (causses) appartenant aux assises de l'Oolithe inférieure.

Le mode de gisement irrégulier de ces phosphates était, même à l'époque des prix de vente élevés, un empêchement à leur développement. La haute teneur de ces matières, dépassant parfois (à Lamandine par exemple) 70 et 72 p. 100 de phosphate tribasique, avait amené une *multiplication désordonnée d'exploitations*, qui n'ont pas pu se maintenir dès que l'approfondissement des travaux est devenu nécessaire. Ils ont été repris après réunion dans les mains de la Société des Phosphates français, en 1887-1888, des principaux gisements.

Voici un tableau donnant la production des huit dernières années (*) :

(*) Communiqur par M. Tauzin, Ingénieur en chef à Toulouse, qui a bien voulu, sur ma demande, en réunir les éléments.

Digitized by Google

Production des phosphates naturels, de 1886 à 1893, dans le Lot, le Tarn et le Tarn-et-Garonne.

DÉPARTEMENTS	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893 Production	1893 Prix moyen par tonne	1893 Valeur
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	fr.	fr.
Lot.	25.900	»	»	18.150	18.000	19.200	9.200	11.931	32	381.792
Tarn-et-Garonne. .	»	»	»	»	»	»	450	270	28	7.560
Tarn.	435	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Totaux	26.335	»	»	18.150	18.000	19.200	9.650	12.201	»	399.352

Ces exploitations tendent à disparaître. Elles souffrent plus que les autres de la concurrence des phosphates riches de la Floride qui prennent leur place. Les phosphates concrétionnés à teneur élevée, servaient principalement dans la fabrication des superphosphates, à relever le titre des phosphates pauvres pour les amener au titre commercial de 12 à 14 p. 100 et même maintenant 15 à 16 p. 100 d'acide phosphorique soluble au citrate. La surproduction des phosphates étrangers à haute teneur a provoqué un avilissement des prix proportionnellement plus grand sur les phosphates riches que sur les pauvres, en leur faisant perdre une grande partie de la surprime résultant de leur haute teneur. (Voir la courbe de variation des prix des phosphates de 1880 à 1893, Pl. II, *fig.* 11).

Gard et Ardèche.

Les gîtes du Gard donnent principalement des phosphorites dont la venue a été, géologiquement parlant, contemporaine de celles du Quercy. On les trouve dans des excavations très irrégulières, au milieu des calcaires compacts de l'étage Urgonien. L'exploitation est souter-

Digitized by Google

raine. Les centres principaux de production sont toujours sur le territoire des communes de Tavel et de Lirac. Les travaux entrepris à Saint-Maximin, dans l'arrondissement d'Uzès, sont actuellement arrêtés.

Les gisements de nodules de S[t]-Julien de Peyrolas et de Salazac continuent à être faiblement exploités.

Dans le département de l'Ardèche, il n'a rien été extrait en 1893, des gisements du Saut de-l'Eygue, La Roussette, Beyne, etc.

Voici d'ailleurs les tableaux de production de ces trois départements, de 1886 à 1893 (*) :

NOMS des départements et communes		ANNÉES 1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893 Production	1893 Prix par tonne	1893 Valeur
		tonnes	tonnes	tonnes	tonn.	tonn.	tonn	tonn.	tonn.	fr.	fr.
Gard.	Tavel	5.000	4.468	6.228	2.574	3.739	926	2.000	2.500	45,00	112.500
	Lirac	2 624	726	631	95	626	904	1.623	1.707	50,00	85.350
	Saint-Julien-de-Peyrolas	845	1.775	1.153	1.527	2.273	2.383	1.603	572	31,90	18.172
	Salazac	928	816	823	836	1.460	2.345	1.350	668	31,90	21.304
	La Capelle	»	»	»	150	200	250	400	450	15,00	6.750
	Saint-Maximin	2 500	2.500	2.500	2 000	»	»	»	»	»	»
Ardèche		494	500	151	»	200	450	200	»	»	»
Totaux		12 391	10.785	11.486	7.182	8.498	7.258	6.176	5.897	41,37	244.076

Drôme. — Isère.

Dans la Drôme on exploite principalement, dans l'arrondissement de Montélimar, à S[t]-Paul-Trois-Châteaux, des nodules du grès vert. C'est ce même horizon qui a donné lieu dans l'Ardèche à l'exploitation du Saut-de-l'Eygue.

La teneur de ces nodules ne dépasse pas le maximum de 55 p. 100 de phosphate tribasique ; la moyenne n'at-

(*) Obligeamment communiqué par M. Ichon, Ingénieur en chef des mines à Alais.

Digitized by Google

teint guère que 45 p. 100. L'exploitation se fait uniquement à ciel ouvert et consiste en un criblage des nodules et un débourbage à l'eau pour séparer le sable resté adhérent.

Production des phosphates dans la Drôme et l'Isère, de 1886 à 1893 (*).

DÉPARTEMENTS	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893		
								Production	Prix	Valeur
	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	ton.	fr.	fr.
Drôme. . . .	7.033	7.680	7.400	8.000	12.000	9.000	7.000	6.200	31,75	196.850
Isère.	»	»	»	»	»	800	»	»	»	»
Totaux. .	7.033	7.680	7.400	8.000	12.000	9.800	7.000	6.200	31,75	196.850

Dans l'Isère, les seules recherches productives ont été exécutées par MM. Ferrouillat et Dumolard; elles n'ont cependant pas donné lieu à une exploitation suivie. Les bancs fossilifères et phosphatés du Gault ont une parfaite régularité, mais la roche est parfois si compacte qu'elle s'oppose au lavage et à l'enrichissement des nodules par les moyens économiques et simples, tels que le criblage et le débourbage, qui sont les seuls procédés pouvant être utilement appliqués à des matières d'aussi faible valeur.

II. — Algérie et Tunisie.

Il y a déjà longtemps que la présence du phosphate de chaux a été signalée dans différents étages géologiques en Algérie. Dès 1873, M. Thomas avait constaté l'existence dans la région sud du Tell de la province d'Alger, d'un étage suessonien riche en phosphate de chaux.

(*) Renseignements dus à l'obligeance de M. Primat, Ingénieur au Corps des mines, à Grenoble.

Digitized by Google

Avant cette époque, M. Le Mesle avait signalé des fossiles albiens, contenant des quantités notables d'acide phosphorique au Djebel-bou-Thaleb, près de Sétif (Département de Constantine).

Tissot, dès 1878, pressentait que ces indications de phosphates sur certains points, dépendaient d'un phénomène général. Il écrivait à cette date les curieuses lignes suivantes :

« La relation constante du terrain suessonien avec les « régions fertiles en céréales, permet de penser que le « phosphate de chaux y existe. La structure y est d'ail- « leurs fréquemment noduleuse. Des recherches seront « faites à ce point de vue. On parviendra peut-être à « trouver là un élément de trafic important soit pour « l'exportation, soit pour fertiliser certaines plaines qui, « comme la plaine de Bône, sont connues pour leur peu « d'aptitude à donner des céréales (*) ».

Ces prévisions sont actuellement en train de se réaliser.

En 1886, M. Thomas, à la suite d'une mission scientifique dans la Régence, publia ses premiers travaux sur les gisements de phosphate de chaux du sud de la Régence (**). Ce géologue avait surtout examiné les gisements des environs de Gafsa, en Tunisie, mais il avait clairement fait pressentir leur continuation dans toute la région sud-algérienne.

Depuis cette époque, les recherches exécutées à la suite de ces premières données, ont été poussées activement dans diverses localités de la Régence et dans la partie du territoire de la province de Constantine qui avoisine la Régence. Des résultats ont été obtenus, des exploitations présentant tous les caractères d'un déve-

---

(*) Notice géologique et minéralogique du Département de Constantine, Paris, *Exposition Universelle de* 1878, p. 35.

(**) P. Thomas, *Association française pour l'Avancement des Sciences*, Congrès de Nancy, 1886.

loppement rapide et durable ont été entreprises ; il est donc intéressant de donner quelques notions générales sur ces gisements nouveaux et d'examiner quelles sont leurs conditions d'avenir.

Géologie générale de la Tunisie. — J'ai reproduit (Pl. I) la carte géologique à échelle réduite (1/2.350.000) de la province de Constantine (d'après Tissot), réunie à celle de Tunisie (d'après M. Aubert), en me limitant aux trois étages géologiques suivants :

1° Jurassique (dont il n'y a d'ailleurs que des pointements peu nombreux dans l'étendue de la carte).

2° Crétacé (sans distinction de l'inférieur et du supérieur), et enfin :

3° Éocène inférieur, à la base duquel se trouvent les gisements de phosphate.

Je dois avertir que les contours des deux cartes précitées ne concordent pas d'une manière complètement satisfaisante, sur la ligne de jonction à la frontière tunisienne.

Ces différences tiennent à plusieurs causes.

L'une et l'autre de ces cartes sont des cartes provisoires, dressées au cours de tournées dans des pays d'accès difficile. Ce n'est qu'avec l'aide du temps et de nouveaux documents que ces contours pourront être définitivement fixés.

J'ai pu les faire concorder dans la région que j'ai plus particulièrement visitée.

D'autre part, les échelles géologiques des terrains des deux cartes ne sont pas identiques.

Il eût été difficile de faire autrement ; la constitution de l'éocène est en Algérie bien plus compliquée et bien plus variable que dans les régions considérées comme classiques. Néanmoins, un caractère constant est l'existence à la base de ce terrain, d'une assise de marnes

Digitized by Google

caractérisées par la présence de silex plus ou moins volumineux, noirâtres à l'intérieur, blancs extérieurement, considérés par les indigènes comme des ossements pétrifiés, d'où le nom de Oum-el-Adam (mère des os ou des germes) qu'ils leur donnent : cette coïncidence de nom est curieuse, si elle est le fait du hasard, vu le voisinage de ces silex et des couches à phosphates très riches en débris de fossiles. Comme ce niveau est en contact immédiat avec la zone à phosphates, on a là un guide sûr pour établir la concordance des deux cartes géologiques.

Il faut ajouter enfin que dans toute la région avoisinant Soukahras et le Djebel Dekma, Tissot a noté comme miocène tout le niveau des marnes phosphatées et les grès à peignes strigiliformes, tandis que ces terrains sont situés *au-dessous* des calcaires blancs à *Nummulites irregularis* dont on a une bonne coupe à la station de Tarja. Il y a donc lieu de réunir au suessonien tout ce qui, dans ces parages, a été marqué de la lettre $\underline{\mu}$ sur la carte géologique provisoire de la province de Constantine.

Cette erreur a d'ailleurs été déjà relevée et signalée dès 1889 par MM. Pomel et Pouyanne (*).

J'ai tenu compte de ces modifications sur ma carte et je suis arrivé ainsi à une concordance suffisante des contours.

J'examinerai d'abord les caractères géologiques généraux que présentent les phosphates tunisiens ; je donnerai ensuite quelques détails sur les principaux gisements reconnus jusqu'à ce jour.

Description du terrain éocène inférieur. — Le terrain éocène inférieur désigné sur la carte par la lettre e_1 débute dans la Régence et, plus généralement, dans tout le

---

(*) Pomel et Pouyanne : *Description stratigraphique générale de l'Algérie*, 1889, p. 188 et suiv.

nord-est de l'Algérie, par les marnes à silex que j'ai indiquées comme servant à déterminer le contour de ce terrain et à le différencier du crétacé, sur lequel il repose en discordance de stratification. Ces marnes constituent un premier dépôt de nivellement des bas fonds de la mer suessonienne et ont par conséquent des épaisseurs très variables.

Elles passent peu à peu, en commençant par des alternances, à des bancs de calcaire marneux, puis à de véritables bancs de calcaire et de marne, qui constituent la partie essentielle des gisements de phosphate.

Ces marnes et calcaires ont des puissances et des teneurs en acide phosphorique variables, suivant les localités où elles ont été reconnues, mais présentant dans chacune d'elles une constance remarquable, tant comme puissance que comme richesse, ainsi qu'on le verra plus loin.

Pour achever la description des caractères généraux de cet horizon phosphaté, il convient d'ajouter qu'il est surmonté d'une puissante formation de calcaire à lumachelles. Ce calcaire coquillier est surtout développé dans le sud de la Régence. En remontant vers le nord, il cède la place aux énormes tables de calcaire nummulitique qui caractérisent la région centrale de la Tunisie.

En même temps que la formation prend le caractère nummulitique, les bancs de marnes alternant avec les calcaires phosphatés deviennent gréseux et glauconieux. Cette transition se voit clairement à la station de Tarja, près Soukahras, où les calcaires blancs à Nummulites montrent leur tranche au-dessus de la station, sur une quarantaine de mètres d'épaisseur, avec intercalation de marnes à Gastropodes. Les Nummulites sont du type *N. irregularis*. Au-dessous des calcaires est un horizon marno-gréseux très glauconieux, riche en phosphates, en dents et en vertèbres de squales, sur 4 à 5 mètres d'é-

Digitized by Google

paisseur, qui constitue la partie supérieure d'un puissant système de grès glauconieux qu'on retrouve avec un développement plus grand encore au nord de Béja, où le terrain éocène inférieur e_1 couvre une vaste surface, comme on peut le voir à la simple inspection de la carte.

Résumé. — On peut dire en résumé que l'horizon des phosphates éocènes se trouve à la base de ce terrain, au contact du crétacé dont il n'est séparé en stratification discordante que par un dépôt de limons argileux noirs de puissance variable, saturés de chlorure de sodium et de gypse, avec silex caractéristiques.

Ces phosphates sont constitués par des alternances de marnes avec nodules et de calcaires phosphatés.

Cette formation phosphatée est recouverte dans le sud de la Régence par un calcaire coquillier, qui fait place à une puissante formation de calcaires nummulitiques au fur et à mesure qu'on remonte vers le nord. Les couches phosphatées deviennent en même temps plus gréseuses et glauconieuses.

Les couches à phosphate sont en général plus redressées dans le sud; celles que surmontent les tables nummulitiques sont moins mouvementées et se rapprochent de l'horizontale.

Nature des phosphates. — Nous avons vu que le phosphate de chaux se trouve dans deux genres de formations bien distinctes : 1° dans la marne; 2° dans le calcaire.

1° *Phosphate marneux en nodules.* — Le phosphate de chaux se trouve à l'état de nodules dans les marnes feuilletées, généralement très gypsifères, qui alternent avec les bancs calcaires. On y trouve en abondance des dents et débris de sauriens et de poissons. Ces marnes sont onctueuses et grasses au toucher et contiennent

parfois, ainsi que M. Thomas en a fait la remarque curieuse dans le mémoire très complet qu'il a publié sur les gisements qui nous occupent (*), jusqu'à 7 et 8 p. 100 d'une matière organique encore mal étudiée, mais qui n'est soluble ni dans le sulfure de carbone, ni dans la benzine.

Ces marnes feuilletées passent fréquemment à la structure noduleuse. Elles contiennent des couches irrégulières de nodules phosphatés qui se présentent, sous des formes et des dimensions variables, généralement arrondis ou striés et recouverts d'une patine brune et luisante d'aspect caractéristique. Les gros nodules qu'on rencontre dans ces conditions et qui ont l'apparence d'énormes coprolithes, sont au contraire très pauvres. Le phosphate est uniquement concentré dans l'enduit luisant de la surface, l'intérieur est du calcaire. Les petits nodules, d'aspect identique, ont au contraire une teneur qui peut atteindre 70 p. 100 de tribasique. On est évidemment en présence d'un phénomène de concentration du phosphate par action secondaire et de précipitation autour de certains centres, par dissolution du carbonate de chaux. Nous retrouverons ce même mode de formation dans les gisements de la Floride et de la Caroline du Sud et nous examinerons, à ce propos, la théorie générale de la formation des nodules et des phosphates riches, par la double action des eaux superficielles agissant à la fois comme véhicule du phosphate tribasique et surtout comme dissolvant du calcaire.

Il faut noter à ce propos que les marnes phosphatées qui nous occupent contiennent, en outre de leur minéralisation en phosphate, des petits filets interstratifiés de gypse cristallin, des nodules de célestine (sulfate de stron-

(*) P. Thomas, Gisements de phosphate de chaux des hauts plateaux de la Tunisie, *Bulletin de la Société géologique de France*, 3e sér., t. XIX, p. 374 et suiv.

tiane) et des sels alcalins. Nous verrons que la présence de ces derniers a de l'importance au point de vue de la genèse des gîtes de phosphate.

Les phosphates marneux constituent la partie la moins intéressante des gisements tunisiens. Ils n'ont été exploités qu'à un seul endroit, au Djebel Dekma, près Soukahras, et cette exploitation n'a pas été rémunératrice. Nous verrons cependant qu'à Sidi-Ayet, près de Tebour-souk, il existe des couches de marnes donnant les 3/5 de leur poids sous forme de nodules à 70 p. 100 de tribasique, qui seront susceptibles de donner lieu à une exploitation fructueuse lorsque les voies de communications auront été créées. Ces marnes accompagnent d'ailleurs d'une manière constante les couches de phosphate calcaire dont il me reste à parler, mais on ne les comprend pas en général dans les cubages des gîtes.

2° *Phosphates calcaires.* — Ces phosphates alternent avec les marnes à nodules. Ils sont activement exploités à Tebessa, seul centre qui soit actuellement en mesure d'exporter ses minerais, grâce au chemin de fer reliant cette ville à Bône, par Soukahras.

Ils se présentent sous forme d'une roche assez friable, grenue, dont la couleur varie du gris jaunâtre clair au brun verdâtre. La qualité la plus recherchée s'écrase facilement dans les doigts et sa densité ne dépasse pas 2, pour la roche en place. Cette roche est formée par l'agglomération dans un ciment calcaire plus ou moins abondant, d'une multitude de grains fins de toutes formes : les uns arrondis, recouverts d'une patine brune et brillante, sont essentiellement formés par du phosphate de chaux jaunâtre, à cassure terreuse ou d'apparence fibreuse ; les autres d'un vert d'herbe, à texture écailleuse ou en très petites masses d'apparence scoriacée ou corrodée, rappellent par leur aspect certaines glauconies. On y rencontre aussi de très petits grains anguleux de

quartz hyalin et il est à remarquer que l'analyse chimique décèle toujours, dans cette roche, la présence d'une quantité notable de silice gélatineuse ou hydratée libre ; enfin, elle est également très riche en débris *organiques*, tels que coprolithes semblables à ceux des marnes feuilletées, dents et os de poissons ou de sauriens plus ou moins désagrégés. Lorsque l'élément calcaire domine dans cette roche, elle devient grisâtre et ressemble beaucoup à la craie grise (Craie tuffeau de Ciply).

Ces bancs de calcaire phosphaté ont un développement et occupent une position très variables dans les divers gisements, mais très constants dans chacun d'eux ; leur puissance varie de quelques centimètres seulement jusqu'à 3 mètres et plus, et se maintient sans interruption sur des étendues de 50 à 60 kilomètres (chaîne occidentale de Gafsa), comme nous le verrons plus loin.

L'ensemble de ces caractères permet de se faire une idée de la formation de ces gisements. La dissolution de la majeure partie du carbonate de chaux composant les bancs phosphatés primitifs a enrichi le phosphate resté non dissous, en même temps qu'elle a rendu la roche friable et poreuse. Il s'est produit contemporainement une précipitation locale du phosphate tribasique en dissolution, à la surface des grains en leur donnant le lustre caractéristique. Le même phénomène de concentration s'observe dans les ossements fossiles contenus dans les bancs calcaires : ces fossiles révèlent, à l'analyse, une proportion de phosphate très supérieure à celle qu'ils contenaient primitivement. Nous aurons l'occasion de vérifier les mêmes faits dans l'étude des gisements américains. Nous retrouvons ici, comme en Floride, ainsi que nous le verrons plus loin, les caractères généraux, en quelque sorte communs à tous les gisements de phosphate de chaux éocènes, basés sur des actions postérieures à leur formation première.

Digitized by Google

Description des principaux gisements. — Je vais maintenant donner quelques détails, avec coupes géologiques, sur les principaux gisements actuellement reconnus en Tunisie et dans la province de Constantine. J'y ajouterai des notions sur les teneurs moyennes reconnues dans chacun d'eux, sur les moyens de transport à créer pour les exploiter, les prix de revient, etc.

Indépendamment des données que j'ai été à même de réunir moi-même au cours du voyage récent que je viens de faire sur les lieux, j'ai pu, grâce aux bons offices de M. Pavillier, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur Général des Travaux Publics de la Régence, prendre connaissance des renseignements réunis au Bureau des mines de Tunis, sur les gisements de phosphate de la Tunisie, ce dont je lui suis très obligé. J'adresse aussi mes remerciements à M. l'ingénieur Gauthier, chef du Service des Mines de la Tunisie, qui a bien voulu mettre à ma disposition une série de coupes géologiques par lui relevées au cours des voyages qu'il a exécutés sur les gisements de phosphate de la Régence, que je n'ai pu visiter personnellement, ainsi que les résultats d'un très grand nombre d'analyses faites par M. Famelart, préparateur au laboratoire du Service des Mines, à Tunis.

Je décrirai d'abord les gisements du sud de la Régence : Gafsa, Tamerza, Djebel, Jellabia, etc., puis, en remontant vers le nord, les gisements de la partie centrale : Tebessa, Galaat-es-Snam, Thala, Nasser-Allah ; enfin la région nord de la Régence, avec les gisements des environs de Soukahras, ceux de Béja, Sidi-Ayet, etc. Je dirai aussi quelques mots des apatites trouvées sur certains points de cette même région.

1° Phosphates du sud de la Tunisie.

Gisements des environs de Gafsa. — Entre Gafsa et Tamerza, s'étend dans la direction E.-O. une chaîne de

Digitized by Google

montagnes formée par un soulèvement du crétacé supérieur (voir la carte géologique, Pl. I). Ce plissement a fortement affecté le terrain éocène, dont les couches se présentent redressées presque verticalement. Les parties de ces couches qui contiennent des phosphates ont été plus sensiblement entamées par les agents atmosphériques, ce qui fait qu'elles sont marquées sur le sol par des lignes de dépression. Les gîtes phosphatés forment au sud de la chaîne une série de couches de couleur brun verdâtre au milieu d'argiles brunes feuilletées. On retrouve cette succession avec une régularité parfaite, dans tous les ravinements du terrain, sur une longueur d'environ 60 kilomètres. Sur ces couches, reposent un ou plusieurs bancs épais de calcaire à lumachelles qui se continuent au sud par une puissante assise de gypse blanc en contact avec le miocène. C'est ce que montre la coupe (Pl. II, *fig.* 1), faite suivant la direction N.-S. sur la ligne sud des affleurements de Gafsa.

Tandis que dans la partie sud, dont on vient de voir la coupe, les couches phosphatées sont puissantes et régulières, sur le versant nord du soulèvement crétacé, elles sont plus bouleversées. Il y a eu là une série de remaniements encore mal définis. En thèse générale, on peut dire que les couches éocènes ont été pliées, puis arasées par les agents atmosphériques, tout en conservant, dans leur ensemble, la disposition indiquée par les coupes schématiques *fig.* 2 et 3, Pl. II. Au Djebel Tarfaï et au Dj. Methaoui, le crétacé a simplement bombé les assises tertiaires, qui se trouvent dès lors peu redressées et en grande partie cachées. Dans d'autres points au contraire, les couches éocènes forment une série de plis, coupés par des failles, qui ont eu pour résultat de les mélanger entre elles et avec le crétacé, qui apparaît au milieu d'elles. On a d'ailleurs pour guide les bancs de calcaire à lumachelles ostréennes, par rap-

Digitized by Google

port auxquelles les couches phosphatées occupent une position constamment identique, aussi bien au nord qu'au sud de la chaine.

La puissance de ce niveau phosphaté est d'environ 80 mètres, le maximum est atteint dans la partie centrale, où elle dépasse 100 mètres. Elle diminue au fur et à mesure qu'on s'avance vers l'est.

Puissance des couches sud. — Pour en revenir aux affleurements sud, qui constituent la zone de beaucoup la plus importante, je donne la coupe de l'ensemble des couches (Pl. II, *fig.* 4), au Khanguet-Seldja. Dans cette coupe figurent les 7 couches principales qui ont une puissance totale de 10 mètres.

Depuis le Dj. Stah jusqu'au Dj. Zeitoun, les affleurements sont recouverts par 1 ou 2 mètres d'éboulis; néanmoins les couches peuvent être facilement suivies dans la série de ravins qui descendent dans la plaine. Sur toute cette longueur, elles conservent, d'une manière remarquablement constante, leur puissance totale de 10 mètres. La couche A, dont les variations sont les plus sensibles, n'a pas d'épaisseurs inférieures à $1^m,80$; elle atteint quelquefois 3 mètres.

Ces couches sont visibles sur la totalité des affleurements, entre Gafsa et Tamerza, soit sur 60 kilomètres de longueur. Elles sont facilement exploitables, sur les deux tiers de cette longueur, sans autres travaux préparatoires que des décapelages de peu d'importance.

Les phosphates en bancs de ces gisements sont grisâtres et grenus. Les couches sont homogènes. Dans une des petites couches secondaires on trouve, avec des quantités de dents de squales, des coprolithes atteignant parfois la grosseur d'une noix. Les marnes qui séparent les bancs de calcaire phosphaté en contiennent aussi des proportions variables, parfois importantes. Elles ne

Digitized by Google

sont néanmoins pas comptées dans le cubage du gite.

Enfin, il faut noter que le calcaire à lumachelles est souvent par lui-même très sensiblement phosphaté. Certains échantillons ont donné jusqu'à 17 p. 100 d'acide phosphorique (37 p. 100 de tricalcique).

Teneur de ces phosphates. — La teneur des phosphates de Gafsa est élevée et régulière. Elle a été déterminée d'une façon très sérieuse, d'abord par M. Mercier, chargé d'une mission industrielle en vue de l'exploitation de ces gites du sud tunisien, et ensuite par le Service des Mines de la Régence, qui a désiré être fixé lui-même sur la valeur de ces richesses minérales.

Voici d'abord une analyse complète d'un échantillon moyen des phosphates du Dj. Seldja :

Silice	6,90	
Fer et alumine	2,50	
Chaux	10,70	
Acide carbonique	8,10	
Acide sulfurique	5,40	
Phosphate tricalcique	61,89	= 28,35 PhO^5
Perte à 100°	4,51	
	100,00	

M. Mercier avait, dès 1889, divisé les couches en cinq zones, à savoir :

Zone n° 1,	couche de 25 à 23	Moyennement riche;
— 2,	— 22 à 16	Très importante et riche;
— 3,	— 15 à 13	Moyenne;
— 4,	— 11 à 5	Importante et riche;
— 5,	— 4 à 1	Médiocre.

Voici maintenant une série d'analyses exécutées par le Service des Mines :

1° Sur les échantillons provenant des travaux de reconnaissances exécutés par M. Mercier;

2° Sur ceux prélevés sur les gisements par M. Gau-

thier, chef du Service des Mines de la Régence, au cours de son voyage aux gisements de Gafsa.

Teneur des couches de Seldja (M. Mercier).

I. *Couches riches. — Minerai non lavé.*

Numéros des couches. . .	5	19	20	22
Teneur en phosphate tribasique de chaux. . . .	55,25 57,20 54,41 55,11 61,95 62,00 54,13 56,64	63,34 59,15 55,51 60,98 61,11 59,61 58,04 60,83	59,61 57,20 61,39 57,20 62,22 60,55 60,27 63,62	60,55 59,99 53,02 53,43 56,09 54,41 58,32 52,46
Moyenne	56,83	59,82	60,26	56,03

Moyenne générale, 58,23 p. 100, minerai brut.

II. *Mêmes couches. — Minerai lavé.*

Moyenne	66,41	65,86	65,57	60,69

Moyenne générale du minerai lavé, 64,63 p. 100.

III. *Autres couches de Seldja. — Minerai brut.*

Numéros des couches . .	1	4	6	8	9	10	12	13	14
Ph. tricalcique pour 100. . .	52,32	17,86	46,04	55,80	58,87	52,55	44,23	47,43	37,11

Numéros des couches. .	15	16	17	18	23		24	25
					brut	lavé		
Ph. tricalcique pour 100. . .	37,39	54,14	66,69	54,69	38,65	46,23	35,58	23,72

Moyenne des couches 8, 9, 10, 16 et 18 : 53,27 p. 100 brut.
La couche n° 4 est un banc de calcaire à lumachelles ostréennes.
La couche n° 9 a 1m,80 de puissance.
Le n° 10 est la moyenne de trois couches voisines.
La couche n° 17, ayant une faible épaisseur, n'est pas comprise dans les moyennes
Le n° 18 est la moyenne de deux couches voisines.

Moyenne des couches exploitables de Gafsa, minerai brut : 56,75.

IV. *Teneur des couches riches de Seldja (d'après M. Gauthier).*

NUMÉROS des échantillons	1er ESSAI	2e ESSAI	
1	56,72	57,28	Moyenne totale 59,48 p. 100 sur minerai *brut*.
2	63,84	63,42	
3	61,75	61,05	
4	54,06	55,04	
5	62,45	61,33	
6	58,12	58,67	
7	59,93	59,37	

Moyenne de la partie Ouest du gisement 54,62
— Est — 56,04

Moyenne générale des couches exploitables de Gafsa, minerai brut sans lavage : 56,70 p. 100.

On voit que les résultats des deux explorations sont absolument concordants.

On peut donc être assuré que sans triage ni lavage, on peut retirer, des gisements de Gafsa, des phosphates ayant une teneur comprise entre 55 et 60 p. 100 et qu'un simple triage ou lavage sommaire permettra d'atteindre sans peine une moyenne supérieure à 60 p. 100.

Ce sont d'ailleurs des teneurs inférieures à celles qu'on atteint actuellement, par simple triage, à Tebessa.

Cubage. — Le cubage de minerai disponible à la vue, exploitable à ciel ouvert sur une hauteur moyenne de 10 mètres, est de 5.000.000 de tonnes de minerai riche, dans la seule partie sud des affleurements et sans tenir aucun compte des marnes phosphatées et des couches ayant une teneur brute inférieure à 52 p. 100 de tribasique.

La question de la mise en exploitation de ces gisements dépend uniquement de la construction du chemin de fer de Gafsa à Sfax (environ 250 kilomètres). Nous en reparlerons plus loin, en examinant l'état actuel des voies de communication de la Régence et les projets qui s'y rattachent.

Digitized by Google

Djebel Jellabia et Djebel. — Ces gisements, encore imparfaitement reconnus, se trouvent situés à 30 kilomètres environ au sud de l'Oued-Seldja. Les couches sont sensiblement les mêmes que celles de l'Oued-Seldja, comme le démontrent les coupes *fig.* 5, 6 et 7, Pl. II.

Au Khanguet Jellabia, deux couches J_1 et J_2 (voir *fig.* 5) ont donné les teneurs suivantes (minerai brut) :

$J_1 = 52{,}17$, $J_1 = 50{,}23$ de tribasique.

Le gisement est coupé de nombreuses failles. Il n'a pas été fait de cubage du gite.

Au Dj. Sehib les couches du crétacé sont à peu près horizontales. Du côté sud de Djebel, l'éocène est très redressé. C'est un mode de gisement tout à fait analogue à celui du Khanguet Seldja, côté sud. La coupe de la *fig.* 6 indique les positions des couches à phosphate par rapport au calcaire blanc et au calcaire à lumachelles; ces deux niveaux caractéristiques restent toujours les guides dans la reconnaissance des gites.

Des échantillons prélevés dans les couches S_1, S_2 et S_3 (*fig.* 6), ont donné les résultats suivants (minerai brut) :

$S_1 = 59{,}90$,
$S_2 = 43{,}80$,
$S_3 = 20{,}93$.

Comme on le voit, la couche S_1 offre un intérêt sérieux. Quant à la couche S_2, que le lavage enrichit notablement, elle n'a qu'une valeur d'appoint.

Dans la partie nord du Dj. Sehib, la formation tertiaire est très morcelée; les couches phosphatées au-dessus du calcaire à lumachelles se réduisent parfois à des marnes feuilletées. Au-dessous de cette couche à coquilles, on trouve une épaisseur de marnes noirâtres très feuilletées d'environ 20 mètres, au milieu desquelles il y a une couche de phosphate de $0^m{,}80$ environ. Ces marnes reposent directement sur le crétacé.

Des échantillons pris dans cette dernière couche ont donné 57,11 p. 100 de tribasique sur le minerai non lavé.

La *fig.* 7, Pl. II, donne une autre coupe dans cette même région nord du Dj. Sehib : elle montre que les couches à phosphate sont, dans cette partie, plus particulièrement développées autour du calcaire coquillier. Il y a donc dans ce gisement des variations plus importantes dans la position et la nature des couches qu'aux environs de Gafsa.

Teneur et cubage. — Des échantillons pris dans cette partie du gisement de Dj. Sehib ont donné une teneur de 59,14 p. 100 de phosphate tribasique de chaux.

Cubage. — Dans la partie sud du Dj. Sehib, on peut compter sur une épaisseur de phosphates riches de 3 mètres. Les couches se suivent d'une manière régulière sur une longueur de 8 kilomètres.

On peut compter exploiter à découvert sur une hauteur de 8 mètres. Ces données permettent de cuber un volume de 200.000 mètres cubes ou 400.000 tonnes de phosphate à enlever à ciel ouvert dans cette région. Les gisements nord du même Djebel demandent à être mieux reconnus, pour qu'on y puisse faire un cubage approximatif, et il serait intéressant d'y exécuter un travail de reconnaissance, à cause des bonnes teneurs rencontrées dans les couches reconnues jusqu'à ce jour.

2° Phosphates du centre de la Tunisie et de la frontière Algérienne.

Gisements des environs de Tebessa. — Ces gisements, qui n'ont commencé à être l'objet d'une exploration régulière qu'en 1892, ne sont guère entrés dans la période d'exploitation proprement dite que dans le deuxième semestre de 1894. La principale question, celle de la création des moyens de transport permettant de relier les

Digitized by Google

gisements au chemin de fer de Tebessa à Soukahras, vient à peine d'être résolue, et ce n'est guère qu'en 1895 que les résultats que doivent procurer ces installations se feront réellement sentir.

La totalité des minerais de Tebessa étant exportée hors de l'Algérie par le port de Bône, le mouvement de sortie des phosphates par ce port depuis 1893, donne la mesure exacte de la production de Tebessa. Il n'y a pas eu, en effet, d'autre centre en exploitation que celui-là, du moins pour la période 1893-1894.

Voici, mois par mois depuis janvier 1893, le tableau des exportations de phosphates par le port de Bône, avec la désignation des pays destinataires :

Mouvement d'exportation des phosphates par le port de Bône.

MOIS	EXPORTATION par navire			PAYS DESTINATAIRES				
	français	étranger	totale	Angleterre	Italie	Autriche	France	Autres pays
Année 1893.								
Janvier	»	»	»	»	»	»	»	»
Février	»	150	150	150	»	»	»	»
Mars	»	200	200	200	»	»	»	»
Avril	»	195	195	40	155	»	»	»
Mai	785	»	785	300	»	»	485	»
Juin	»	»	»	»	»	»	»	»
Juillet	»	735	735	735	»	»	»	»
Août	»	800	800	800	»	»	»	»
Septembre	»	160	160	»	160	»	»	»
Octobre	»	860	860	610	250	»	»	»
Novembre	»	500	500	500	»	»	»	»
Décembre	80	»	80	»	»	»	80	»
Totaux	865	3.600	4.465	3.335	565	»	565	»
Année 1894 (9 mois).								
Janvier	»	1.200	1.200	1.200	»	»	»	»
Février	»	1.300	1.300	300	300	»	»	700
Mars	100	1.110	1.210	»	»	210	100	900
Avril	»	1.000	1.000	1.000	»	»	»	»
Mai	»	2.400	2.400	500	260	840	»	800
Juin	»	5.543	5.543	4.320	615	»	»	608
Juillet	600	6.395	6.995	2.580	2.615	700	600	500
Août	»	5.285	5.285	2.200	1.310	1.655	»	120
Septembre	»	4.075	4.075	3.195	360	520	»	»
Totaux	700	28.308	29.008	15.295	5.460	3.925	700	3.628

Navires en charge le 1er octobre : 1, jaugeant 966 tonnes.

On voit que les expéditions n'ont commencé à prendre d'importance qu'à partir du mois de juin de l'année 1894.

Géologie. — Je n'insisterai pas sur la formation géologique des gisements de phosphate des environs de Tebessa. Elle vient justement d'être l'objet d'une description très complète dans une note de M. Blayac, insérée dans les *Annales des Mines* de septembre 1894 (*) avec coupes, et je ne saurais mieux faire que d'y renvoyer. On y verra d'ailleurs que les gisements de Tebessa ne diffèrent pas sensiblement dans leurs lignes essentielles des autres points sur lesquels les phosphates ont été signalés dans la Régence et dont je donne, au cours de ce travail, tout au moins pour ceux qui paraissent offrir le plus d'importance, une description sommaire.

Exploitation. — Voici maintenant quelques renseignements sur les exploitations de phosphates des environs de Tebessa :

Trois compagnies se partagent actuellement les travaux.

Compagnie Crokston. — La Compagnie Crokston exploite le plateau du Dyr proprement dit. L'exploitation est souterraine et passe sous le manteau de calcaire nummulitique qui recouvre la formation. Le phosphate est réparti dans plusieurs couches variant comme épaisseur entre 2 et 3 mètres, et comme richesse, après triage sur place, entre 58 et 63 p. 100 pour la qualité la plus pauvre et 63 à 69 p. 100 pour la qualité riche. C'est sur la base de ces deux limites de teneurs que sont passés les marchés à livrer.

(*) *Annales des mines*, 9e série, t. VI, p. 319.

La nature de ces phosphates ne laisse rien à désirer au point de vue de leur transformation en superphosphates : teneur élevée permettant d'obtenir couramment, sans aucune addition, un titre de 14 à 15 p. 100 d'acide phosphorique dans le superphosphate ; bonne qualité du produit qui donne un superphosphate grenu, sec, facile à broyer et ne s'agglomérant pas en sacs, enfin faible rétrogradation du titre. Ces divers avantages ont fait apprécier dès leur apparition les phosphates tunisiens et algériens, notamment en Angleterre, leur marché principal. On a vu par le tableau des exportations, que 60 p. 100 de la production actuelle de Tebessa est dirigée sur les ports anglais

Transports par chameaux. — Le gisement du Dyr proprement dit est réuni au chemin de fer de Tebessa à Soukahras par une ligne aérienne qui a été mise en service en juillet 1894. Avant cette date, le transport, depuis les chantiers jusqu'à la gare, s'opérait au moyen de chameaux, animaux qui rendent de grands services dans les exploitations minières tunisiennes éloignées des voies de communication.

Voici quelques renseignements sur ce mode de transport qui, bien qu'il soit limité comme emploi aux pays à climat désertique, peuvent avoir une utilité éventuelle.

Le chameau demande des soins spéciaux, pour être d'un emploi économique, et il ne peut être employé que dans son pays d'habitat normal.

En Tunisie il est d'un emploi beaucoup plus courant qu'en Algérie. En aucun cas il ne peut faire de transport par temps de pluie. Lorsqu'on l'emploie dans des conditions convenables et dans les saisons favorables, le chameau peut transporter des minerais à 0f,30 la tonne kilométrique et ce, sur des distances considérables sans autres chemins que les pistes indigènes. La charge d'un chameau adulte varie de 300 à 400 kilogrammes.

On peut, avec ces animaux, faire face au transport de tonnages importants, dans les endroits où les indigènes en possèdent des troupeaux suffisants, mais il est au contraire difficile et coûteux de dépasser le tonnage maximum correspondant aux moyens locaux de subsistance de ces animaux.

La Compagnie Crokston exploite en ce moment sur le pied de 200 tonnes par jour. C'est la société qui a été la première à s'installer et elle a atteint, la première aussi, la période d'exploitation normale.

Le gisement qu'elle exploite assure sa production pour de longues années.

Compagnie Jacobsen. — La Compagnie Jacobsen (The Constantine Phosphate Company) exploite la partie des gisements de Tebessa qui forme la continuation du plateau du Dyr, et la nature des phosphates est la même que celle de l'exploitation Crokston. La différence consiste d'abord dans une plus grande puissance des couches, qui atteint jusqu'à 6 mètres, et ensuite dans la disparition, sur une partie de la surface en exploitation, du manteau de calcaire nummulitique qui recouvrait les couches, de sorte qu'une partie du phosphate peut s'exploiter à ciel ouvert. Cet avantage est, il est vrai, compensé par la redevance élevée que cette affaire doit payer aux propriétaires primitifs, car la Compagnie n'a eu ces gisements que de seconde main.

Cette Société a d'ailleurs eu des frais considérables à avancer pour relier ses gisements à la ligne de Tebessa, par un embranchement de chemin de fer de 30 kilomètres de longueur ; mais une fois ces installations terminées, et au plus tard au début de 1895, elle sera en mesure d'exporter une quantité de phosphate au moins égale à celle de la Compagnie Crokston, et ce, dans des conditions très économiques.

L'unique Compagnie française exploitant à Tebessa, dirigée par M. le colonel Corps, avec le concours de la maison Hébré et Girault, de Paris, est beaucoup plus rapprochée des chemins de fer que les deux précédentes, puisqu'elle n'a à construire qu'un embranchement de 6 à 7 kilomètres pour se relier à la ligne de Bône-Guelma.

L'ensemble de ces trois affaires sera en mesure de produire, dès 1895, une quantité moyenne de 500 tonnes de phosphate riche par jour, soit 150.000 tonnes pour la première année d'exploitation régulière du district de Tebessa.

Prix de revient. — On peut estimer comme suit le prix de revient actuel de la tonne de phosphate, pour les exploitations déjà reliées au chemin de fer :

	fr.		fr.
Abatage, boisage et roulage.	3,00		3,00
Triage et séchage.	1,00		1,00
Transport au chemin de fer, suivant la distance.	0,50	à	1,50
Transport à Bône, y compris transbordement à Soukahras et déchargement à quai.	9,00		9,00
Mise à bord.	0,50		0,50
Fret pour les ports de la Méditerranée	6,00		»
Fret pour les autres ports d'Europe	»		9,00
Amortissement du matériel et frais généraux . .	*3,00*		*3,00*
Frais de vente, escompte, etc. ; 6 p. 100 du prix de vente.	1,80		2,00
Total. . . . . fr.	24,80	à	29,00

ce qui laisse une marge, sur les prix de vente actuels à raison de $0^{f},60$ à $0^{f},62$ l'unité, base 60 p. 100, d'environ 8 à 10 francs par tonne, dont il y a lieu de déduire les redevances à payer, ainsi que l'intérêt et l'amortissement du capital d'achat des gisements.

Teneur. Limite d'exploitabilité. — Les mêmes chiffres montrent que les phosphates contenant moins de 55 p. 100

ne sont pas susceptibles, dans les conditions actuelles de l'exploitation, de laisser un bénéfice, du moins aux cours du jour, pour leur vente à l'exportation. Ce sont ces minerais de teneur moyenne, entre 50 et 55 p. 100, qu'il y aurait le plus d'intérêt à traiter sur place, opération qui a déjà été étudiée par diverses entreprises de phosphates, et qui dépend essentiellement du prix auquel on pourrait se procurer de la pyrite ou des minerais pyriteux à Bône.

Exportation probable en 1895. — Une difficulté que rencontrera le développement du district de Tebessa, tiendra à l'insuffisance de la ligne Tebessa-Soukahras, comme moyen de sortie. Indépendamment des installations à créer en vue du transbordement rapide à Soukahras, installations qui ne présentent pas de difficulté spéciale, mais dont le besoin se fait déjà vivement sentir, il faudra augmenter considérablement le matériel roulant de la voie étroite pour arriver à faire face à un trafic de 150 à 200.000 tonnes annuelles, sans entraver les mouvements de céréales et d'alfa qui, dans certaines saisons, représentent déjà un tonnage important sur cette petite ligne. Toutes ces modifications s'opéreront sans aucun doute, mais elles demanderont un certain temps pour leur exécution.

Enfin, le port de Bône lui-même, tel qu'il se comporte en ce moment, est totalement insuffisant pour permettre un trafic rapide et économique, pareil à celui que les gisements de Tebessa font prévoir. Ce port, dans lequel on a déjà dépensé des sommes très considérables pour transformer l'ancien avant-port en une darse intérieure et créer un nouvel avant-port plus au large, est actuellement à moitié fini, mais les travaux ont été conduits de telle façon que la partie déjà exécutée ne peut pas être utilisée pour y faire accoster les navires et y opérer des chargements. La plupart des quais, tant anciens

Digitized by Google

que nouveaux, ne sont pas reliés aux voies du chemin de fer de Bône-Guelma. Il n'y a pas de grues à vapeur, tous les embarquements ou débarquements se font soit par couffins, à dos d'homme, soit par les moyens du bord, tandis que les phosphates de Tebessa, par leur nature pulvérulente et légère se prêtent admirablement au chargement par élévateur. Enfin, des considérations d'ordre militaire, en outre des difficultés financières que l'achèvement du port doit traverser, vont retarder notablement l'époque à laquelle les phosphates pourront être mis à bord par les moyens économiques et modernes qui sont d'usage courant dans tous les ports organisés en vue du trafic de matières encombrantes et de peu de valeur. Pour terminer cet examen, je renvoie à la page 118, où j'expose les moyens dont les exploitants de phosphates de la Floride disposent, trois années seulement après la mise en marche de leurs travaux, pour le transport et l'embarquement de leurs produits. La comparaison est instructive.

De cet ensemble de faits, il résulte que ce n'est pas avant trois à quatre ans, à partir d'aujourd'hui, que les exploitations de phosphates de Tebessa arriveront à leur *prix de revient minimum, ce que les anglais appellent* le « bottom price ».

Gisements de Guelaat-es-Snam (*). — En continuant à remonter vers le nord, nous retrouvons la formation du Dyr, mieux caractérisée encore si c'est possible, à la fameuse montagne du Guelaat-es-Snam. M. Thomas, qui a visité le gisement de phosphate que contient cette chaîne de montagne, au cours de sa mission en Tunisie, en a fait une description très exacte (**).

(*) Guelaat = château fort, falaise.
(**) P. Thomas, *loc. cit.*, p. 398.

Digitized by Google

« C'est un immense bloc calcaire (Pl. II, *fig.* 8), d'une « seule pièce, cubant plus de 20 millions de mètres, ayant « la forme d'un rectangle à pans coupés verticalement, « d'une hauteur de plus de 50 mètres et posé presque en « équilibre au sommet d'une pyramide quadrangulaire, « dont la base repose sur un large massif de collines cré- « tacées. Un étroit escalier, entaillé par les hommes dans « l'escarpement nord de cette énorme table de géants, « donne seul accès sur sa plate-forme supérieure, vers le « milieu de laquelle se dressent les misérables masures « d'une zaouïa, construites avec des débris de monuments « antiques. Ce bloc de calcaire sub-cristallin rougeâtre, « très dur, ne peut être comparé pour sa richesse en Num- « mulites qu'à ces fameux Monts-Écrits (Djebel Mokattam) « des environs du Caire, dont les géologues voyageurs « ont donné maintes fois la description. Les débris de « Foraminifères y sont tellement abondants, que l'on ne « pourrait y pratiquer sur n'importe quel point une coupe « de quelques centimètres carrés seulement, sans en ren- « contrer plusieurs dizaines. On peut dire, sans crainte « d'exagérer, que ces organismes forment à eux seuls les « 90 p. 100 de la masse totale de la table du Guelaat-es- « Snam. La roche elle-même est très homogène dans sa « texture, mais on y rencontre cependant çà et là quel- « ques petits grains anguleux de quartz parfois rou- « geâtres, ainsi que quelques nodules gris, fondus dans la « masse et contenant des traces d'acide phosphorique; j'y « ai aussi aperçu quelques fragments de dents de poissons. « Mais, vers la partie supérieure de cette immense table, « d'assez nombreuses empreintes d'huitres viennent se « mêler aux Nummulites; j'ai pu reconnaître avec certi- « tude l'*Ostrea multicostata* Desh. et très probablement « aussi l'*Ostrea Clot-Beyi* Bell., dans le calcaire qui forme « le palier supérieur de l'escalier dont il a été question « plus haut.

« Les Nummulites du Guelaat-es-Snam paraissent sem-
« blabes à celles du Dir-el-Kef, appartenant, d'après
« MM. Ficheur et Pomel, aux mêmes groupes que celles
« de Soukahras (Dekma) et de Tebessa (Djebel-Dyr), c'est-
« à-dire aux groupes des *N. irregularis*, *N. planulata*, *N.*
« *Biarritzensis* et *N. Gizehensis*, qui caractérisent l'éocène
« inférieur d'Algérie (*). »

Teneur. Cubage. — Depuis l'époque où ont été écrites ces lignes (1891), on a reconnu que les couches de phosphate alternant avec les marnes, avaient plus d'importance qu'on ne l'avait pensé tout d'abord et je suis informé qu'une société anglaise, après exécution d'un certain nombre de travaux de reconnaissance, qui ont démontré l'existence de couches contenant jusqu'à 62,22 p. 100 de tricalcique, est en instance pour obtenir la concession de ce gisement, dont l'exploitation exigera la construction d'un embranchement de 80 kilomètres de voie ferrée se raccordant avec la ligne Tebessa-Soukahras (Voir la carte des voies de communication de la Tunisie en 1894, Pl. III, *fig*. 1.

Dans la région de Guelaat-es-Snam, ces phosphates ont été reconnus, d'abord au Guelaat proprement dit, dont j'ai donné la coupe, puis au Kef-Rebiba, au Kef-Kackiche, à Aïn-Taga, Zoubia, etc.

Le calcaire nummulitique du Guelaat-es-Snam ne repose pas directement sur les alternances de marnes et de calcaires à phosphate; il existe entre ces deux niveaux une certaine épaisseur de calcaire blanc à Gastropodes. Ce gisement est donc un terme de passage entre la formation franchement nummulitique du nord de la Régence et celle à facies pélagique des environs de Gafsa, caractérisée par le calcaire supérieur, à plaquettes. Il faut

(*) Ficheur, *B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, 360.

Digitized by Google

noter aussi à la base des couches à phosphates, avant d'arriver aux marnes, de nombreuses intercalations de silex dans les couches.

D'après les derniers travaux de reconnaissance, l'épaisseur totale des phosphates de Guelaat-es-Snam est d'environ 10 mètres.

Région d'Haydra. — Au Kef-Rebiba et au Kef-Kackiche on a exactement la même disposition. En descendant vers le sud-est, du côté d'Haydra, on rencontre d'abord le gisement du Guelaat-es-Djerda, près d'Haydra. Les phosphates y ont encore une épaisseur de 10 mètres, mais le gisement est bien moins étendu que celui du Guelaat-es-Snam.

Entre Haydra et les gisements de Tebessa se trouve le grand plateau du Djebel Kouif, que traverse la frontière algérienne. Ce plateau est constitué par les éboulements du terrain nummulitique, de sorte que les couches à phosphate ont été partiellement arasées. L'épaisseur reconnue ne dépasse pas 3 à 4 mètres. La disposition des couches est d'ailleurs la même que dans le reste de la formation.

Région de Thala. — En continuant dans la direction de l'est, la formation se continue, recouverte en partie par le miocène, mais la nature des couches se modifie sensiblement. Les bancs coquilliers sont phosphatés, assez faiblement il est vrai, mais les bancs de phosphate proprement dits disparaissent et sont remplacés par des marnes phosphatées.

Ces bancs ont une grande étendue, mais leur teneur en acide phosphorique est faible. Il est vrai que les travaux de reconnaissance exécutés jusqu'à ce jour dans ces parages éloignés de toute voie de communication, se réduisent à peu de chose.

Digitized by Google

Il en est de même pour les gisements signalés plus à l'est de Thala, au Djebel Reukaba et à Si-Ali-ben-Oum-el-Zine. On y signale des phosphates noirs et gris, d'une puissance atteignant 10 mètres, qui seraient la continuation des terrains d'Haydra. S'il en était ainsi, les gisements de Thala pourraient avoir plus d'importance qu'on ne leur en a accordé jusqu'à présent. Toute cette région centrale de la Tunisie reste encore à explorer. Elle n'offre d'ailleurs pas d'intérêt immédiat, étant donnés les nombreux points plus abordables et mieux reconnus qui doivent tout d'abord être mis en valeur.

Région de Nasser Allah.—Les gites de Thala se relient naturellement avec ceux de Nasser Allah, au sud-ouest de Kairouan, qui terminent à l'est la formation de la partie centrale des phosphates tunisiens que nous venons de passer rapidement en revue.

Ces phosphates des environs de Kairouan ont été étudiés avec soin, vu leur proximité relative de la mer, étant donné surtout que le chemin de fer de Sousse à Kairouan, destiné à remplacer le tramway actuellement posé, est compris dans le programme du réseau des chemins de fer tunisiens qui va être exécuté très prochainement.

Les résultats ont démontré que la teneur moyenne des phosphates de cette région ne dépasse pas 45 p. 100 sur minerai brut; mais ils s'enrichissent bien par le lavage. Ce sont donc des phosphates qui exigent certains frais de traitement pour arriver à une teneur permettant leur exportation.

Comme conditions géologiques, on trouve à Nasser Allah, comme dans toute la région centrale, le calcaire nummulitique en couronnement, surmontant le calcaire blanc à Gastropodes, puis le niveau à phosphate, et enfin les marnes jaunes et noires de la base (Pl. II, *fig.* 9).

Les affleurements, dont la direction générale est nord-sud, couvrent une surface considérable. Ils se présentent suivant deux lignes de crêtes parallèles, depuis l'Aïn-Merota jusqu'à l'Oued-el-Feka, sur une longueur de près de 30 kilomètres. La crête de l'est regarde la mer, dont elle n'est éloignée que d'une centaine de kilomètres, celle de l'ouest s'incline vers la vallée de Bin-el-Djebel qui la sépare du Djebel Sidi-bou-Gobrine.

Les coprolithes sont parfois très abondants et, dans ce cas, donnent des produits lavés très riches.

Teneur de ce gisement. — Voici d'ailleurs une série d'analyses qui permettent de se rendre compte de la teneur moyenne réelle, à l'état brut, des phosphates de Nasser Allah :

			PHOSPHATE TRIBASIQUE.		
			p. 100	p. 100	p. 100
Recherches	de 1889	Nasser Allah	26,50	34,88	41,85
Id.	de 1890	Aïn-Merota	16,75	29,30	43,53
Id.	de février 1890.	Aïn-Merota	35,58	41,66	44,65
Id.	de février 1890.	Sidi-bel-Kassem-(nodules lavés) . .	»	»	63,05
Id.	de janvier 1891.	Aïn-Merota brut.	31,39	»	44,23
		Aïn-Merota lavé.	40,87	»	55,80
Id.	de mars 1892. .	Nodules du Djebel Janda (lavés). . .	»	»	69,69

3° Posphates de la région nord.

Environs de Soukahras. Djebel Dekma. — Ces phosphates sont les premiers qui aient été l'objet d'une exploitation suivie en Algérie. Leur proximité du port de Bône, auquel ils sont reliés par le chemin de fer Bône-Guelma, facilitait beaucoup le transport des produits. Malheusement les travaux ont été entrepris sur des couches marneuses qui ne pouvaient donner des produits à 50/55 qu'après un lavage coûteux et dont le rendement était faible. On ne rencontrait pas de couches de ce calcaire

Digitized by Google

phosphaté grenu, tendre et friable qui caractérise les gisements riches. Les travaux d'exploitation ainsi que le broyage des nodules dans l'usine de mouture qui avait été installée à côté de la gare de Soukahras, furent arrêtés lors de la grande baisse du prix des phosphates, après la découverte des gisements de la Floride.

Depuis cette époque, M. Wetterlé, inventeur de ces gisements, a continué ses recherches sur les phosphates des environs de Soukahras, et il a reconnu qu'il existait au-dessous des couches marneuses exploitées au Djebel Dekma, dont la teneur ne dépassait pas, à l'état brut, 40 à 45 p. 100, une formation phosphatée reposant directement sur le calcaire à Inocérames et titrant de 50 à 65 p. 100 suivant les endroits. Ce fait est intéressant parce que, s'il se confirme, il ouvrira une zone nouvelle pour les recherches dans tous les endroits où le calcaire à Inocérames vient affleurer, notamment à El Kantara, aux Tamarins, etc. Les recherches sont rendues difficiles dans cette région par la présence des grès et argiles miocènes qui recouvrent la majeure partie du terrain, tandis qu'à Tebessa, la formation éocène inférieure est beaucoup plus facile à suivre et se détache nettement sur le crétacé, *à une altitude de 1.100 à 1.200 mètres et se trouve, dans les parties basses, complètement mise à nu par les ra*vinements.

On commence d'ailleurs, dans la région de Soukahras, à trouver dans les phosphates une proportion de silice plus élevée; la formation prend le facies gréseux. C'est ainsi que les phosphates reconnus à Aïn-Seymour par exemple, affleurent dans des grès éocènes bien caractérisés. Ces bancs commencent aux carrières, au delà d'Aïn-Seymour, viennent affleurer sur quelques points de la ligne ferrée à proximité de la ferme Lescot, puis traversent la Medjerdah pour ressortir sur le flanc des Ouled-Béchia.

Phosphates des grès verts. — On trouve aussi, dans la

région dont je parle, au-dessus des phosphates éocènes, des phosphates appartenant aux derniers dépôts marins de la période miocène. Ces phosphates ont été d'ailleurs reconnus sur un grand nombre de points en Algérie, notamment dans la province d'Oran, avant la découverte des phosphates éocènes. Nous les retrouverons en grande quantité du côté de Béja. Jusqu'ici ils n'ont été trouvés exploitables sur aucun de ces points, à cause de leur pauvreté. Ce sont ces phosphates qui ont donné naissance à des gisements par décomposition secondaire dans le calcaire à Mélobésies, exploités dans l'est de la province d'Oran, dont nous parlerons plus loin.

Gisement du Kef. — Le gisement du Kef se rattache plutôt par sa formation et par son aspect même, aux phosphates de Tebessa et du Guelaat-es-Snam qu'à la formation nord proprement dite. On trouve ce phosphate à la base du vaste plateau nummulitique qui s'étend à l'altitude de 850 mètres à côté de la ville du Kef et qui porte le nom de Dyr-el-Kef. (Dyr = escarpement, crête à pic).

La puissance totale des couches phosphatées y est d'environ 6 mètres.

Leur teneur moyenne à l'état brut ne paraît pas dépasser 35 à 40 p. 100, mais les recherches ont été presque nulles jusqu'à présent et il faudrait une étude plus complète pour pouvoir se prononcer sur leur valeur industrielle.

On peut d'ailleurs en dire autant des phosphates qui existent au pied des autres grandes falaises éocènes éloignées des voies de communication comme par exemple dans la région nord avoisinant le cours de la Medjerdah, ceux du Djebel Skarna (Ouled-Aya), du massif du Ghorra près Teboursouk, etc.; quant à la région centrale, on peut citer, indépendamment des gisements dont j'ai donné la

Digitized by Google

description, le Guern-Alfaya, le Djebel Haout, le grand massif au sud d'Ebba, Djebba, le Djebel Fahs, le Djebel Kbouch, Aïn Touga, la Hamada des Ouled Aoun et enfin le massif de la Kessera.

Je ne cite ces points que pour donner une idée de l'étendue géologique des gisements en question. L'avenir permettra de reconnaitre quels sont ceux qui pourront donner lieu à des exploitations remunératrices, au fur et à mesure du développement des voies de communication et d'accès.

Région de Béja. — Le terrain éocène est très développé au nord de Béja, dans la région qui s'étend de Béja à l'Oued Ksob, aux Beni Maleck et au Khanguet-el-Tout.

Son facies est différent de celui que nous avons décrit précédemment : au lieu d'alternances de marnes feuilletées et de calcaires, on rencontre un système de grès rouges argileux, phosphatés par places, de grès jaunes également phosphatés avec Gastropodes et Polypiers et de grès jaunes à Cardites.

Ces grès sont situés en dessous des calcaires éocènes à polypiers, comme le montre la coupe Pl. III, *fig.* 4. Aux environs de Béja, les calcaires prédominent et impriment leur caractère à cette formation; ils forment des collines généralement dénudées. Le calcaire nummulitique ne recouvre ces calcaires qu'exceptionnellement : en général ils sont surmontés par des grès éocènes, qui tiennent lieu de l'assise nummulitique, ou par des grès pliocènes d'eau douce. On retrouve ces calcaires dans toute la formation éocène de l'Oued Siliana et notamment dans les gisements de Sidi-Ayet dont il me reste à parler pour terminer ce rapide examen des gisements phosphatés de Tunisie.

Gisements de Sidi-Ayet. — Les gisements de Sidi-Ayet sont situés dans la vallée de l'Oued Siliana, au sud de

Digitized by Google

Testour à 55 kilomètres environ de la ligne du chemin de fer de Tunis à Ghardimaou. La ligne projetée desservant la plaine du Fahs aura son point terminus à peu de distance des gisements.

Les couches reconnues sur la rive droite de l'Oued Siliana (voir Pl. III, *fig.* 2 et 3, le plan et la coupe géologique du gisement de Sidi-Ayet), affleurent suivant une direction approximativement nord-sud avec un pendage assez prononcé vers l'ouest. Elles reposent sur des marnes grises gypseuses et alternent avec des bancs de calcaires, de marnes jaunes et d'argiles.

Près de l'Oued Siliana apparait le miocène, en stratification discordante. Au delà de la rivière on trouve des terrains quaternaires formés d'argiles rouges avec poudingues.

Description des couches. — Les gisements de phosphate forment quatre groupes de couches que je vais décrire succinctement.

1^er^ *Groupe : Recherche Mercier.* — Ce groupe n'est que d'importance secondaire.

Une série de tranchées s'étendant sur 300 mètres de longueur ont découvert deux couches de phosphates inclinées de 35° à l'ouest et d'une épaisseur variant de $0^m,50$ à $0^m,80$. Ces phosphates sont très argileux.

Au-dessus de ces deux couches se trouve un petit dépôt de sables phosphatés avec nodules, de $0^m,20$ à $0^m,25$ de puissance.

Les échantillons rapportés par le Service des Mines ont donné pour les deux couches une teneur moyenne brute de 7,45 p. 100 de tribasique.

La couche de sable phosphaté a donné, sur divers échantillons prélevés :

18,34, 17,19, 26,51, 23,03, 36,27. Moyenne, 24,37 p. 100 en phosphate tribasique.

Digitized by Google

2e *Groupe : Ragoubet Aïn-Bey.* — Les couches de ce groupe sont séparées des précédentes par des marnes jaunâtres avec couche à *Ostrea multicostata*. Ce groupe comprend trois couches, chacune de $0^m,80$ d'épaisseur, et deux ou trois autres plus petites, dont la puissance varie de $0^m,20$ à $0^m,30$, ces dernières alternant avec des calcaires marneux.

La teneur moyenne de ces trois couches est encore assez faible et ne dépasse pas, d'après les analyses du Service des Mines, le chiffre de 30 p. 100.

Il faut ajouter que les travaux pour ce groupe, comme pour le n° 1, ont été superficiels et qu'à $1^m,50$ de profondeur, les couches paraissent contenir des nodules plus riches et plus abondants.

L'un et l'autre de ces groupes ne seraient en tout cas exploitables qu'avec lavage. L'eau et même la force motrice ne manquent pas sur place.

3° *Groupe : Oued Merire.* — Dans ce groupe de couches on trouve en très grande quantité des nodules phosphatés et des coprolithes très riches en phosphate tribasique. Aussi ce groupe est-il de beaucoup le plus important de tous ceux rencontrés dans cette région.

Les couches se composent de sables, alternant avec des argiles et des marnes.

Les nodules abondent sur un espace de 350 mètres mis à découvert.

Le système de couches de l'Oued Merire se compose de sept à huit couches d'épaisseurs très variables, mais dont les limites varient de $0^m,50$ à $0^m,90$.

Teneur. — Divers échantillons analysés par le Service des Mines, ont donné les résultats suivants :

1° Tout venant.	62,51 p. 100	de phosphate tribasique de chaux
	42,28 —	
	48,08 —	
2° Partie sans nodules. . .	10,62 —	

Les nodules pris séparément ont donné :

Nodules blancs	65,50 p. 100	de phosphate tribasique de chaux
— noirs	59,80 —	
— noirs	70,00 —	

On voit d'après ces chiffres que les couches ont une teneur moyenne de phosphate de chaux variant de 45 à 50 p. 100, tandis que les nodules ont une teneur voisine de 70 p. 100.

Comme nous l'avons déjà dit, ces nodules sont abondants; ils composent en général les 3/5 du minerai; il est d'ailleurs facile de les séparer du tout venant.

Toutes les couches se retrouvent dans la grande échancrure (voir le plan), ce qui prouve leur continuité.

4[e] *Groupe : Krechem Ahmar*. — Après avoir traversé toute cette série de marnes, d'argiles jaunes, de marnes gypseuses grises et rouges, on arrive au groupe du Krechem Ahmar.

Dans ce groupe nous rencontrons d'abord la couche qui suit la falaise sud du mamelon du Krechem Ahmar.

Cette couche est comprise entre 2 bancs de calcaires noirâtres; elle se divise en 2 petites couches dont l'épaisseur totale est d'environ 1 mètre.

Du côté ouest on retrouve la même couche en affleurement.

Trois échantillons pris aux points indiqués ci-après, donnent les teneurs suivantes :

	p. 100.	
A l'ouest	25,04	de phosphate de chaux
Au milieu de la falaise sud	25,87	—
A l'est-sud-est	25,04	—

La teneur semble donc être régulière, mais bien faible.

En dessus de la couche qui suit la falaise sud se trouvent deux autres bancs de phosphates.

Le premier, dont l'épaisseur varie de $0^m,80$ à 1 mètre,

Digitized by Google

renferme deux sortes d'échantillons. Les uns, rouges, ont une teneur moyenne de 20,97 p. 100 de phosphate.

Les autres, blancs, ont une teneur de 17,38 p. 100.

Dans ce premier banc on rencontre de nombreux petits fossiles ressemblant à des rognons de phosphates.

Le deuxième banc contient aussi deux types : l'un foncé, l'autre clair. Ce dernier a une teneur de 47,61 p. 100.

Enfin, on peut rattacher à ce groupe les phosphates situés au delà de l'Oued Merire, dont la teneur est de 40,84 p. 100.

Tels sont les différents groupes de phosphates situés dans le gisement de Sidi-Ayed.

Comme on le voit, le groupe n° 3 a seul une importance notable, étant donnée sa richesse en phosphate tribasique de chaux et la facilité avec laquelle on peut séparer les nodules de la gangue, généralement friable, qui les empâte.

Apatites. — Pour achever cette description des phosphates de Tunisie, il me reste à dire quelques mots des gisements dits d'apatite, ou pour mieux dire de phosphorite concrétionnée, qui ont été signalés dans les terrains jurassique et crétacé inférieur des environs de Tunis.

Voici la teneur de ces minerais :

Djebel-Zaghouan : 55,80, 68,81, 70,87, 76,73, 78,13, 80,35 p. 100 de tribasique.

On voit que ces phosphates sont d'une extrême richesse.

Djebel Ressas (échantillon pris en janvier 1894) : 60 p. 100 de tribasique.

A Zaghouan, la Société de la Vieille-Montagne exploite un filon d'apatite, dont les analyses ci-dessus indiquent la teneur. Ce minerai exceptionnel se trouve dans le même terrain et dans les mêmes conditions de gisement que la calamine, avec laquelle on le confond souvent.

Au Djebel Ressas les conditions de formation sont les

Digitized by Google

mêmes, c'est-à-dire que la phosphorite se rencontre en poches ou griffons, à proximité des poches et griffons de calamine.

Ces dépôts secondaires et localisés de phosphate concrétionné ne peuvent donner lieu qu'à des exploitations limitées comme durée et comme quantité; néanmoins il m'a paru intéressant de les signaler à cause de cette association intime de la calamine et de la phosphorite. Elle n'est d'ailleurs pas limitée aux deux endroits que je viens d'indiquer. Je l'ai constatée aussi au Djebel Dekma près Soukahras où on trouve de la calamine concrétionnée et zonée en placages sur le calcaire, alternant avec des dépôts de phosphorite concrétionnée aussi et d'apparence identique. L'analyse chimique permet seule d'affirmer qu'on est en présence de l'un ou de l'autre de ces minéraux. En signalant ce fait dans une note récente, je rappelais que des échantillons analogues avaient figuré dans l'Exposition minéralogique de la Province d'Oran, à Paris, en 1889 : on n'arrivait à y classer les calamines et les phosphates que grâce aux étiquettes (*).

Régime des exploitations de phosphates en Algérie. — Le régime des exploitations de phosphates en Algérie et en Tunisie n'est pas encore établi d'une manière régulière, et c'est là une source de difficultés, de retards et d'incertitudes, qui est de nature à porter un grave préjudice à l'esprit d'entreprise individuelle qu'il est au contraire de la plus haute importance en principe, de favoriser le plus possible, et plus encore dans les pays neufs.

Nécessité d'une réglementation. — Ces difficultés tiennent en Algérie à deux causes principales : d'abord à l'or-

(*) David Levat, Gisements de calamine de la Tunisie. *Assoc. franç. pour l'avanc. des sciences.* Congrès de Caen, 1894.

ganisation encore embryonnaire de la propriété individuelle qui ôte toute sécurité aux transactions entre indigènes et Européens lorsqu'il s'agit de cession de terrains sur lesquels la constitution de la propriété individuelle n'a pas été faite encore, et c'est le cas pour la presque totalité des territoires sur lesquels se trouvent les gîtes de phosphate.

D'autre part, les terrains appartenant aux indigènes, dits *terrains melks*, ne constituent qu'une fraction du territoire : en général, les gisements se trouvent sur des terrains communaux indigènes (*arch*), ou domaniaux, ou forestiers.

Dans ce cas, il est évident que les Communes ou l'État doivent chercher à trouver des acquéreurs, ou des amodiataires, leur donnant le prix ou la redevance la plus élevée, tout en se conformant aux règles de droit qui président à des contrats de cette nature. Les exemples analogues ne manquent pas, et on peut se rendre compte par l'examen des précédents existant dans d'autres pays, des avantages et des inconvénients des divers systèmes employés. Je donnerai plus loin, à propos des gisements de phosphate de la Caroline du Sud, une idée des difficultés survenues entre l'Administration des Finances de cet État et les exploitants, à propos du paiement de la redevance par tonne établie par la loi. Cette redevance avait été fixée, à l'époque où les phosphates avaient une valeur élevée, à 1 dollar par tonne de phosphate exporté, soit environ 5 p. 100 de la valeur marchande du produit à l'époque. Finalement on a dû, après une grève des exploitants, très onéreuse pour eux et pour l'État, qui a été privé du revenu minier pendant plus d'une année, abaisser de moitié, temporairement tout au moins, le taux de la redevance en tenant compte de l'état de dépression du marché. Si les prix de vente tombent encore, la même difficulté se reproduira.

Digitized by Google

Le système de la vente par adjudication publique a pour résultat de sacrifier complètement, ou tout au moins de rendre très incertains, les droits des inventeurs des gîtes et de ceux qui ont risqué les capitaux nécessaires pour en démontrer la valeur. Il détourne par conséquent les capitaux de ces emplois, au grand détriment du pays.

Le moyen qui parait le plus naturel, est de fixer dès le début, au moment de la délivrance du permis de recherches, la redevance à payer au propriétaire du sol, État ou commune, lors de la transformation éventuelle du permis de recherche en contrat d'exploitation, si les résultats obtenus par les premiers travaux font reconnaitre un gisement industriellement exploitable.

Cette redevance peut d'ailleurs être fixée, soit d'une manière uniforme, soit dans chaque cas particulier, après enquête sur place, en tenant compte des conditions et des difficultés locales de l'exploitation, topographie, distance de la mer ou des chemins de fer, etc. Cette redevance doit être modérée sous peine d'avoir à la diminuer ensuite. L'exemple que j'ai cité plus haut est caractéristique à ce point de vue. Si la redevance est fixée à un taux tel qu'elle soit une cause de suspension du travail, par suite des fluctuations du marché, renchérissement de la main-d'œuvre, etc., l'État est obligé, après beaucoup de trouble, de faire abandon d'une partie de ses droits pour assurer la continuation du travail.

Enfin et surtout il faut laisser au titulaire du permis de recherche la certitude de son droit à recueillir le fruit de ses travaux et des risques courus, ou à en faire bénéficier ses ayants droit.

Quelle que soit la solution qui sera adoptée, il est urgent qu'une réglementation intervienne, et je me fais ici l'écho des nombreux intéressés que j'ai été à même de rencontrer pendant mon séjour en Algérie-Tunisie. Il

Digitized by Google

est d'autant plus nécessaire qu'il en soit ainsi, que des demandes de permis de recherches datant de plus de deux ans voient leur instruction traîner en longueur (surtout lorsque les demandes portent sur des terrains dépendant du service forestier), alors que certaines exploitations plus favorisées par les circonstances, comme les trois sociétés exploitantes qui avoisinent Tebessa par exemple, sont déjà en état de production. Il faut ajouter que, sur ces trois affaires, deux sont créées et dirigées par des Anglais.

Régime tunisien. — En Tunisie, la situation est sensiblement différente.

D'abord en ce qui concerne l'acquisition de gisements situés sur des propriétés privées, l'application du système de l'Act Torrens aux dites propriétés résout la question. Le plan de cet ouvrage ne me permet pas de m'étendre sur les avantages précieux que la Tunisie a retirés de l'application, facultative d'ailleurs et peu coûteuse, du système Torrens à la propriété; il suffit de dire que, pour le cas qui nous occupe, c'est l'unique moyen d'acquérir, sans trouble ultérieur, une propriété appartenant aux indigènes, d'en avoir le plan exact et d'en purger toutes les hypothèques inscrites ou occultes.

Quant à ce qui est relatif aux gisements en terrains domaniaux, on n'est pas beaucoup plus avancé à Tunis qu'en Algérie, pour ce qui a trait à l'exploitation ou la concession définitive (si on décidait qu'il y aura *concession de phosphate* au sens minier du mot, conclusion vers laquelle penchent certains esprits, mais qui ne paraît pas devoir — à juste titre à mon avis — constituer la solution à laquelle on s'arrêtera).

En fait il n'y a pas encore, au moment actuel, d'exploitation régulière de phosphates commencée en Tunisie.

En examinant plus loin le programme de construction

Digitized by Google

des chemins de fer tunisiens, on verra que le retard apporté à la délivrance de titres réguliers permettant l'exploitation des phosphates dans la Régence, dépend en majeure partie de la solution qui sera donnée à la question de création d'un chemin de fer reliant Gafsa à Sfax.

Néanmoins, les demandes en permis de recherches de phosphates situés en terrains domaniaux, sont dès à présent, en Tunisie, instruites comme les demandes analogues pour les mines.

Le Directeur général des Travaux publics délivre au demandeur un permis de recherche, sous forme d'arrêté, dont voici le modèle :

Modele d'arrêté pour permis de recherches.

ARRÊTÉ.

Le Directeur général des Travaux publics,

Vu la pétition, en date du , par laquelle M. demande l'obtention (ou le renouvellement) d'un permis de recherches de phosphate de chaux au : ;

Vu l'arrêté n° , du ,

Arrête :

Art. 1er. — M. est autorisé, sous toutes réserves des droits des tiers, à effectuer des travaux de recherches de phosphates de chaux dans groupes de terrains domaniaux situés au , délimités comme il est dit ci-après et conformément au plan annexé au présent arrêté.

Art. 2. — Tous travaux d'exploitation sont formellement interdits au permissionnaire, qui ne pourra exécuter que des travaux de reconnaissance et de recherches.

Art. 3. — Le permissionnaire tiendra sur les lieux un registre constatant la nature et l'avancement des travaux exécutés, les circonstances principales de l'allure des gites et le nombre d'ouvriers employés.

Il communiquera ce registre à toute réquisition du Directeur général des Travaux publics ou de ses délégués.

Art. 4. — Le permissionnaire sera soumis aux dispositions, lois et règlements intervenus ou à intervenir en matière de police d'exploitation de carrière.

Digitized by Google

Il se conformera, pour la conduite des travaux, aux instructions qui lui seront données par l'Administration en ce qui concerne la sûreté du sol, celle des ouvriers et la conservation des gisements.

Art. 5. — Le permissionnaire sera soumis aux dispositions spéciales du Code forestier et de l'Ordonnnnce du 1er août 1827, ainsi qu'aux lois et règlements intervenus ou à intervenir sur le régime forestier en Tunisie.

La présente autorisation ne comporte nullement le droit d'occupation des terrains forestiers. Le permissionnaire aura, dans tous les cas où cette disposition lui paraîtrait nécessaire, à présenter des demandes spéciales et à se soumettre aux conditions qui pourraient lui être imposées à ce sujet.

Art. 6. — Le permissionnaire sera tenu de conserver les objets d'art, ruines et autres antiquités, ainsi que les fossiles d'origine animale ou végétale que les travaux feront découvrir dans l'étendue du périmètre ci-dessus défini et de remettre à l'Administration, après l'avoir avisée de sa découverte, ceux de ces objets qu'elle jugerait convenable de réclamer.

Art. 7. — La durée de la présente permission est fixée à une année.

Art. 8. — *La présente autorisation ne confère au permissionnaire aucun droit pour l'obtention de la concession éventuelle des gisements recherchés.*

Il n'est rien préjugé sur le choix qui pourra être fait ultérieurement d'un concessionnaire soit pour les gisements de phosphates, soit pour les mines que les travaux en question auraient fait découvrir.

Art. 9. — *Le présent permis est annulé de plein droit si les terrains pour lesquels il a été délivré viennent à être englobés partiellement ou totalement dans une concession de phosphates de chaux.*

Tunis, le 189 .

Le Directeur général des Travaux publics,

On voit que l'article 8 réserve expressément tous droits *d'obtention de la concession éventuelle* et ne présage par conséquent pas du choix à faire ultérieurement du concessionnaire ou de l'exploitant définitif, de sorte qu'en réalité et si on s'en tenait au texte même de l'arrêté, le titulaire d'un permis de recherches n'aurait absolument aucune garantie que le fruit de ses travaux et dépenses lui resterait acquis, en cas de réussite de ses recherches.

Réglementation à créer. — Il me semble que cette question d'acquisition du droit d'exploiter les phosphates sur les terrains Arch (communaux indigènes) domaniaux ou forestiers peut se résumer de la manière suivante.

Digitized by Google

De deux choses l'une : ou bien les terrains renfermant les phosphates sont déjà connus, la richesse exploitable est mise en évidence, on peut en faire le cubage et partant l'évaluation avec assez d'exactitude pour permettre une mise à prix par adjudication, au plus offrant et dernier enchérisseur, avec cahier des charges, suivant les règles ordinaires des adjudications publiques.

Ou bien les terrains n'ont été l'objet d'aucune recherche. Le permis de recherche, renouvelable, délivré au demandeur pour une durée limitée de une ou deux années, ne dépassant pas une superficie maxima par demande pour éviter l'accaparement, ferait mention de la redevance à payer par tonne au cas où le permis de recherches serait transformé en permis d'exploitation, à la suite de découvertes démontrant l'exploitabilité du gite. Cette redevance étant d'ores et déjà fixée et acceptée par l'intéressé, le permissionnaire saurait à quoi s'en tenir sur le prix de revient éventuel des minerais qu'il pourrait mettre en évidence et serait dès lors en mesure de trouver les capitaux nécessaires à leur exploitation sans courir le risque d'être évincé par un tiers disposant de moyens supérieurs aux siens.

La redevance, comme je l'ai dit plus haut, doit être modérée sous peine de donner lieu ultérieurement à des difficultés d'une gravité et d'une délicatesse particulière parce qu'elles touchent à des questions de salaires, de continuation ou de cession de l'exploitation dans un pays où une fois l'industrie minière suspendue ou arrêtée, la population ouvrière qui y était attachée doit forcément émigrer pour chercher du travail ailleurs, la région n'offrant pas d'autres ressources. Il faut d'autre part laisser une perspective de bénéfice qui soit de nature à engager les capitaux à entrer dans ce genre d'affaires.

Enfin, cette redevance devra varier avec les conditions locales, l'administration ayant d'ailleurs toute facilité

Digitized by Google

pour se procurer par son propre personnel, qui présente toutes les garanties d'impartialité désirables, les éléments d'information nécessaires pour en fixer les bases.

Pour terminer ce que j'ai à dire des recherches de phosphates en Tunisie j'ajouterai que, lorsque le permissionnaire le demande et si ses travaux sont reconnus suffisants, on lui délivre un permis de vente. Ce permis est renouvelable, ainsi d'ailleurs que celui de recherches.

Statistique des permis de recherches délivrés. — Voici l'état des permis délivrés jusqu'à la date du 1er mai 1894 pour recherches de phosphates en Tunisie. Les surfaces sont indiquées pour les principaux d'entre eux :

LOCALITÉS	DATE DE LA DEMANDE	SUPERFICIE
		hectares
Kranghuet Seldja	1er juillet 1886	960
Djebel Nasser-Allah	15 juin 1889	810
Gafsa	1 juin 1889	4.200
Djebel Nasser-Allah	21 juillet 1889	2.065
Djebel Rebaïa	18 novembre 1889	$13^{ha},36^{a}$
Djebel Seldja	18 mars 1890	
Henchir Rhirane	6 janvier 1891	
Gaffour	27 janvier 1891	
Gafsa	21 mars 1891	
Henchir Sidi Ayed	*16 mai 1891*	1 200
Idem.	*30 juillet 1891*	
Guelaat-es-Senam	*15 février 1892*	21
Kef Rebiba	Idem.	210
Djebel bou Keherid	Idem.	$46^{ha},75^{a}$
Kef Krakiche	25 février 1892	80
Massif du Zaghouan	24 septembre 1892	700
Henchir Ksour	6 mars 1893	
Henchir Sidi Ayed	16 mars 1893	
Idem.	16 avril 1893	
Djebel Stah	18 septembre 1893	720
Enchir Gargour es Sahasha (kef)	23 octobre 1893	
Djebel Reças	6 novembre 1893	700
Djebel Srira	18 novembre 1893	144
Ksir Enchir Lali	16 décembre 1893	2.244
Frontière algérienne	4 janvier 1891	
Fraichich	20 janvier 1894	
El Aouaria	23 avril 1894	
Sidi Ayed	21 mars 1894	
Idem.	18 avril 1894	

Chemins de fer de Tunisie. — On comprend aisément par la description que j'ai faite des principaux gisements

Digitized by Google

de phosphate de Tunisie et de la frontière algérienne, que le développement de leur exploitation est intimement lié à celui du réseau des voies ferrées.

Les gisements de Tebessa n'ont pu être attaqués qu'à cause de leur voisinage relatif de la ligne de Tebessa à Soukahras, ligne qui n'a d'ailleurs pas été faite en vue de leur exploitation.

Ce tronçon de voie ferrée de 120 kilomètres de longueur, exploité par la Compagnie Bône-Guelma, n'a pas la même largeur de voie que le reste du réseau de cette Compagnie. Il s'ensuit qu'il faut rompre charge à Soukahras.

Le transbordement s'opère actuellement à la main, mais même lorsque des moyens plus perfectionnés auront remplacé cette fausse manœuvre, il n'en restera pas moins de ce chef un empêchement sérieux à la rapidité et au bon marché des transports.

Il faut d'ailleurs reconnaître que la Compagnie Bône-Guelma a fait homologuer, en vue de faciliter le développement du trafic des phosphates sur sa ligne, un tarif réduit qui paraît être l'extrême limite des concessions de prix qui peuvent lui être demandées. (Voir le tarif de la compagnie Bône-Guelma, P. V. n° 26).

En tenant compte de la rupture de charge et de l'opération de transbordement en gare de Soukahras, qui est comprise dans le prix payé, ainsi que du profil très accidenté de la ligne, ce tarif peut être considéré comme très voisin du prix de revient.

Cet exemple est une nouvelle preuve de la faute qui a été commise, lors de la construction du réseau primitif algérien, en adoptant la ligne normale de $1^{m},45$, alors que ni les considérations de raccordement avec un autre réseau, ni les probabilités de trafic futur n'obligeaient à choisir cette largeur de voie. On eût réalisé une économie très considérable dans les frais de premier établissement

Digitized by Google

et par suite dans les intérêts et amortissements du capital immobilisé, en adoptant un type de voie plus souple exigeant des tunnels moins longs et moins coûteux et admettant des courbes plus prononcées.

Quand on arrive à évaluer, d'une part, l'économie initiale qu'aurait produite l'adoption de la voie de 1 mètre en Algérie et d'autre part les diminutions d'intérêt et d'amortissement qu'aurait entrainé, pour la génération actuelle de contribuables, l'exécution des chemins de fer d'après ce programme, on comprend aisément qu'il est bon d'insister sur ce point, non par intérêt purement platonique et rétrospectif, mais en vue des décisions à prendre pour l'avenir.

Nouveau réseau tunisien. — Ces considérations ont évidemment guidé le Gouvernement tunisien dans l'établissement du projet de réseau qu'il se propose de faire construire, avec le consentement des Chambres françaises. (Voir Pl. III, *fig.* 1, la carte des voies de communication existantes et projetées en Tunisie, en 1894.)

A cet effet, la loi d'août 1894 a approuvé la convention passée entre le Gouvernement français et S. A. le Bey de Tunis, laquelle Convention avait pour objet l'homologation d'une Convention passée entre S. A. le Bey et la Compagnie des Chemins de fer Bône-Guelma et Prolongements en vue de construire, dans des conditions déterminées, la ligne de Tunis à Hammamet et Neboul avec embranchement sur Noudjel et la ligne de Tunis à Sousse et Moknine avec embranchement sur la plaine du Fahs.

Éventuellement, la convention envisage la possibilité de prolongation de la ligne Tunis-Sousse jusqu'à Sfax.

Les tracés ne sont pas fixés d'une manière définitive par la Convention. Elle prévoit même (art. 2) la faculté de modifier les tracés, pourvu qu'il n'en résulte pas un ac-

croissement des longueurs à construire, supérieur à 15 p. 100 du réseau total.

La voie sera à écartement de 1 mètre.

La ligne littorale Hammamet-Sousse paraît définitivement écartée par suite de considérations d'ordre purement militaire.

Le Gouvernement Beylical donne sa garantie pour les frais de premier établissement qui sont à sa charge, mais l'exploitation proprement dite sera faite entièrement aux frais et risques de la Compagnie Bône-Guelma. Cette Société est d'ailleurs autorisée, par le Gouvernement français, à imputer les insuffisances d'exploitation que pourra donner le réseau tunisien, sur les réserves du réseau algérien, de sorte qu'en définitive l'État garantit indirectement les résultats d'exploitation du réseau tunisien.

Ports tunisiens. — Ce projet se complète par l'exécution de travaux, déjà commencés d'ailleurs, pour le dragage et l'aménagement de quais dans les ports de Bizerte, Tunis, Sousse et Sfax. On a évité, en Tunisie, l'erreur, trop commune ailleurs, qui tend à éparpiller les dépenses nécessaires pour l'aménagement des ports, sur un grand nombre de points, d'importance très inégale et à n'arriver somme toute , après un temps très long et des frais considérables, qu'à un résultat tout à fait disproportionné avec les dépenses faites. Il est certain qu'avec les quatre ports de sortie dont j'ai donné plus haut l'énumération, la Tunisie sera convenablement et suffisamment dotée pour l'exportation et l'échange facile de ses produits. Le port et le lac de Bizerte ne commandent pas, commercialement parlant, un rayon d'attraction considérable, mais ce port offre un intérêt militaire de premier ordre, qui justifie l'exécution des travaux qui y ont été faits et qui touchent en ce moment à leur fin.

Le système adopté pour l'exécution des travaux des ports de Tunis, Sousse et Sfax, est la concession à une compagnie fermière avec un cahier des charges convenablement contrôlé, et avec une garantie d'intérêt modérée de la part du Gouvernement Beylical.

On voit que l'ensemble des mesures prises par l'Administration des Travaux Publics de Tunisie en vue de l'exécution des ouvrages d'utilité publique, dénote une certaine autonomie dans leur conception, qui différencie nettement le Protectorat de la Tunisie, de l'administration algérienne. Cette dissemblance, qui frappe l'esprit de toutes les personnes qui ont été en mesure d'étudier ces deux contrées, pourtant si voisines l'une de l'autre, est toute en faveur du Protectorat, et les résultats obtenus sont là pour l'attester. Il faut dire toutefois, pour être équitable, que les conditions ethnographiques, topographiques et même géologiques, puisque c'est ce dernier point de vue qui m'a amené à faire ce parallèle, sont plus avantageuses en Tunisie qu'en Algérie, considérées l'une et l'autre comme pays de colonisation et d'expansion française.

Chemin de fer de Gafsa à Sfax. — Cette ligne, dont le développement total atteindra environ 250 kilomètres, est destinée à relier les gisements de phosphate au port de Sfax. Ce point est mieux qualifié que Gabès pour servir de port pour l'exportation d'un tonnage important de marchandises qui, comme les phosphates, ne peuvent pas supporter de faux frais d'embarquement. Il serait très coûteux, si toutefois on y réussissait, de créer à Gabès un port en eau profonde permettant de charger des steamers à quai. Sfax est mieux situé. Il y a de plus un commerce local déjà assez développé.

Mouvements du port de Sfax en 1893. — Voici le mouvement de ce port, pour l'année 1893 :

Navires entrés : 2.730, dont 2.028 petits voiliers tunisiens.

Jauge totale de ces navires				192.136 Tx
Mouvement de marchandises				23.031
Part du commerce français dans ce total :			107 vapeurs jaugeant	87.140
—	—	—	3 voiliers.	
—	Italien	—	101 vapeurs jaugeant	74.011
—	—	—	86 voiliers.	

Indépendamment de l'intérêt que présente la ligne Gafsa-Sfax au point de vue de l'exploitation des phosphates, elle offre un avantage politique et militaire considérable en coupant la communication du sud de la Tunisie et du sud de l'Algérie avec la Tripolitaine. Enfin, elle pénètre directement dans la région des oasis, dont le commerce a une importance que peu de personnes soupçonnent, mais très réelle cependant, car c'est par là que s'opèrent une partie notable des échanges avec l'intérieur africain.

Des négociations ont été entamées, à la suite des reconnaissances qui ont établi d'une manière indubitable l'existence, dans la région de Gafsa, de quantités très considérables de phosphate riche, exploitable à ciel ouvert, pour construire le chemin de fer de Gafsa-Sfax, avec garantie d'intérêt du Gouvernement Beylical, et par conséquent de la France, et concession simultanée des gisements à la Compagnie qui construirait et exploiterait le chemin de fer. Cette combinaison n'a pas abouti.

En principe, les gisements de Gafsa, dont la valeur est réelle, doivent, aux yeux de l'administration Beylicale, être seuls garants du revenu du chemin de fer. Elle exigerait même en principe, en outre d'une redevance par tonne, le versement anticipé par le concessionnaire d'une somme équivalente au capital de premier établissement de la ligne Gafsa-Sfax, que le Gouvernement Tunisien construirait dès lors lui-même, dans des conditions identiques aux autres lignes projetées, et qu'il incorporerait ainsi dans son réseau général.

Il parait difficile, étant donné surtout l'état actuel des

Digitized by Google

affaires de phosphate, exposé au cours de ce travail, de trouver les capitaux considérables que nécessite la construction d'un chemin de fer d'une importance aussi grande que celui de Gafsa-Sfax, en basant uniquement ses chances de revenu sur le transport d'un minerai soumis, comme le sont les phosphates, à des fluctuations considérables de prix. D'autre part, il n'est pas désirable, dans l'intérêt général, que des gisements comme ceux de Gafsa, très faciles à exploiter, demandant peu de frais de premier établissement pour permettre l'ouverture de chantiers nombreux et productifs, soient concentrés dans une main unique. Ce serait offrir un champ assuré à la spéculation sur un article qui s'y prête déjà par la manière même dont son commerce s'opère. On sait que la plupart des gisements du nord de la France sont syndiqués; les producteurs de superphosphates et de scories phosphatées ont aussi des organisations puissantes en vue de maintenir la production et par conséquent le prix dans des limites raisonnables. On voit donc combien est délicate la ligne de conduite à suivre quand il s'agit de mettre en œuvre des gisements qui, de l'avis unanime, peuvent très facilement jeter annuellement sur le marché européen 200.000 à 250.000 tonnes de phosphate à 60/65 p. 100 correspondant par conséquent à 500.000 t. de superphosphate.

Il est désirable toutefois qu'une solution intervienne. L'administration Beylicale désire régler cette affaire de Gafsa avant de concéder d'autres gisements de phosphate dans le Protectorat, et les intérêts généraux du pays souffriraient si cette situation temporaire se prolongeait davantage.

Autres phosphates d'Algérie. — Pour terminer cette étude succincte des gisements de phosphate de la Tunisie et de l'Algérie, je dois dire quelques mots des phosphates de l'Algérie proprement dits.

Digitized by Google

Les gisements éocènes de Tunisie et de Tebessa se prolongent certainement dans le sud de l'Algérie. J'ai figuré sur la carte à échelle réduite, publiée dans ce travail, les points où ils ont été signalés comme ayant une certaine importance. C'est surtout à la terminaison des hauts plateaux et dans le voisinage de la région désertique des chotts, en un mot dans des conditions topographiques et géologiques comparables aux affleurements Gafsa-Tamerza, qu'il y a lieu de s'attendre à voir les recherches couronnées de succès. On signale, d'autre part, des couches phosphatées dans l'éocène des environs de Sétif et de Bordj-bou-Arreridj (*) où ce terrain atteint un grand développement. On en connait aussi près de Guelma, à l'Oued Zénati, puis plus au sud, sur les contreforts des monts Aurès, vers la région des chotts, aux environs de Biskra, etc. Il est certain qu'un phénomène géologique aussi intense que celui qui a marqué le dépôt des phosphates au début de la période éocène n'a pas dû se limiter à un point et que, géologiquement parlant tout au moins, ce niveau de phosphate éocène forme une bande allant de la Tunisie au Maroc. L'attention ayant été attirée sur ces gisements à la suite de leur mise en exploitation en Tunisie et sur la frontière algérienne, on verra au fur et à mesure que l'on connaitra mieux la topographie spéciale de l'éocène inférieur, les découvertes de phosphates dépendant de ce niveau se multiplier en Algérie.

Mais indépendamment de ces gites éocènes, on a exploité et on exploite encore, quoique sur une échelle assez restreinte, dans la province d'Oran, des gisements miocènes de phosphate qui ont été étudiés récemment par M. Bourbon, ingénieur civil des mines, qui a bien voulu

---

(*) Blayac. *Annales des mines*, 9e série, t. VI, p. 331.

me communiquer la partie géologique du rapport inédit qu'il a rédigé sur certains de ces gisements.

Je m'empresse de dire que, bien qu'il s'agisse de phosphates très purs et très riches, les gisements en question sont loin d'avoir l'importance de ceux de l'éocène. Ce sont des phosphorites tapissant des fentes et cavernes qui constituent le type de ces gîtes. C'est dire que, sauf des exceptions heureuses qui restent à découvrir, ces gîtes sont limités comme quantité et ne méritent pas qu'on expose pour eux des frais de premier établissement élevés, vu l'incertitude des quantités à extraire. Toutes les affaires qui ont fait des immobilisations importantes sur ces genres de gisements n'ont pas eu lieu de se féliciter de l'abandon de cette règle de prudence.

Gisements de phosphate de la province d'Oran. — Le terrain miocène présente dans la vallée du Chéliff un développement considérable. La partie moyenne (Helvétien) est occupée par un calcaire, dit calcaire à Mélobésies, renfermant des algues calcifères, de nombreux Bryozoaires, des Foraminifères, etc. Sa puissance est assez variable, mais elle atteint sur de grandes étendues une épaisseur de plus de 100 mètres. Ces calcaires sont notablement phosphatés.

Mode de gisement. — Ils contiennent de nombreuses grottes et cavernes naturelles dont la formation a été facilitée par la stratification très nette de ce calcaire. L'intérieur de ces grottes est occupé par des dépôts qui se présentent toujours de la manière suivante :

A la base, une couche stalagmitaire de phosphate de chaux concrétionné blanc ou jaune clair très riche, d'épaisseur variable, reposant directement sur le calcaire à Mélobésies, et épousant en général la direction et le pendage de la roche sous-jacente.

Digitized by Google

Au-dessus, viennent des terres phosphatées mélangées d'oxyde de fer, de sable et d'argile. Ces terres sont elles-mêmes recouvertes d'argiles de transport; parfois cependant, la partie supérieure des grottes est vide. Elles communiquent avec le jour par des sortes de puisards remplis de terre végétale et reconnaissables à des dépressions qui leur correspondent à la surface, dépressions qui sont généralement cultivées tandis que le reste du terrain est formé de calcaires en bancs, dénudés.

Ces grottes communiquent entre elles par un réseau capricieux de conduits dans lesquels ont circulé les eaux qui ont déposé le phosphate. Ces conduits, dits « trous d'eau » par les exploitants auxquels ils servent de guide d'une grotte à l'autre, présentent aussi les dépôts typiques de phosphate concrétionné à la base et de terres phosphatées dans les vides supérieurs.

M. Bourbon a trouvé dans le phosphate concrétionné de l'une de ces grottes (grotte Leghar), un échantillon de phosphate de chaux compact, contenant dans sa partie centrale, au sein d'un noyau de phosphate friable, terreux, les deux fossiles suivants : *Nummulites planulata*, *Pecten plebeius*, fossiles caractéristiques du suessonien.

Un fait digne de remarque, c'est la richesse en acide phosphorique du calcaire à Mélobésies formant les parois de ces grottes. Une analyse faite à l'École des mines de Paris sur un échantillon de ce calcaire provenant d'une des parois verticales de la grotte Leghar, a donné :

	Acide phosphorique total	4,25	p. 100
correspondant à :	Phosphate tribasique de chaux .	9,87	—
	Calcaire.	80,60	—
	Oxyde de fer.	6,30	—

tandis que les noyaux de ce même calcaire ayant servi de centre de concrétion et de dépôt pour les rognons de

Digitized by Google

phosphate compact rubané, que contiennent ces grottes, ne titrent que :

	Acide phosphorique total	0,80 p. 100
correspondant à :	Phosphate tribasique.	1,74 —
	Calcaire	90,20 —
	Oxyde de fer.	2,30 —

ce qui semblerait prouver que ce calcaire a été appauvri en phosphate par l'action des eaux sédimentaires.

Les dépôts stalagmitiques de phosphorite sont fréquemment accompagnés de couches plus ou moins épaisses d'aragonite alternant avec le phosphate.

Notons enfin, autant du moins que le développement actuel des travaux d'exploitation dans ce genre de gisements permet de l'affirmer, que les grottes à phosphate sont alignées sur une direction qui coïncide avec un anticlinal des calcaires mélobésiens.

Formation de ces gîtes. — Malgré ces indications tendant à attribuer à ces phosphates une origine filonienne ou hydrothermale directe, telle que celle qui a donné naissance, d'après M. de Lapparent, aux poches d'argile à silex du calcaire grossier (*), l'opinion des géologues qui ont étudié ces gites est que l'origine de ces phosphates doit être recherchée dans la dénudation, la dissolution et le transport par les eaux du phosphate contenu dans les couches phosphatées du terrain miocène, puis le dépôt subséquent par ces mêmes eaux chargées d'acide carbonique et possédant par conséquent des propriétés dissolvantes convenables pour tenir en solution une quantité suffisante de phosphate tribasique. Ce phosphate serait venu se précipiter ensuite, au contact du calcaire à Mélobésies. Ce sont, somme toute, les deux théories

(*) De Lapparent. *B. S. G. F.*, Séance du 2 février 1891.

Digitized by Google

per ascensum et *per descensum* qui se donnent carrière une fois de plus à propos de ces gisements de la plaine du Chéliff. L'une et l'autre peuvent donner une explication suffisamment concordante avec les faits observés jusqu'à ce jour, y compris la présence des fossiles éocènes dans la phosphorite. Il faut attendre que de nouveaux faits caractéristiques, mis en évidence par le développement des travaux, viennent donner une preuve définitive à l'appui de l'une ou l'autre des deux hypothèses relatives à l'origine de ces phosphates.

L'exploitation est concentrée dans les environs de la gare d'Inkermann, sur la ligne d'Alger à Oran. Mais on connait des enrichissements de ce genre sur des points très nombreux et très éloignés les uns des autres, les conditions de gisement restant d'ailleurs identiques.

Voici les principaux endroits où ces gisements ont été signalés :

Environs d'Inkermann,
— de Merdja,
— de Charon,
— de Relizane,
Djidiouia (Saint-Aimé) près Relizane, etc.

Teneur de ces phosphates. — Le phosphate concrétionné est seul utilisé jusqu'à présent. Les terres phosphatées demanderaient, pour être amenées à une teneur marchande, un lavage que les conditions locales de sécheresse et les prix de vente actuels rendent impossible. De plus les transports sont encore si rudimentaires et si coûteux, que seuls les phosphates très riches peuvent les supporter.

Voici les analyses moyennes de ces phosphates :

Digitized by Google

NUMÉRO de l'échantillon	ACIDE phosphorique	PHOSPHATE TRIBASIQUE		ALUMINE	OXYDE de fer
		Total	soluble dans le citrate		
1	33,00	71,40	5,60	traces	4,30
2	36,00	77,90	10.80	traces	5,00
3	37,76	81,81	0,82	0,01	1,58
4	13,68	29,61	traces	0,15	1,10
5	14,71	31,84	traces	4,00	»
6	25,50	55,10	2,30	0,20	3,00

Phosphate riche.

hosphate de la grotte Merdja.
2. — — Charon.
3. — — Leghar (Inkermann).

Terres phosphatées.

4. Grotte Leghar (surface).
5. — (partie moyenne).
6. — (partie inférieure).

CHAPITRE II

PHOSPHATES NATURELS A L'ÉTRANGER.

1. — Europe.

Je n'insisterai pas sur la production des phosphates en Allemagne, en Angleterre et au Canada. Ces trois contrées, qui ont contribué pendant longtemps à alimenter une partie importante de la consommation, sont en complète décadence au point de vue de leur production locale. Le fait est dû uniquement aux conditions actuelles du marché et aux bas prix de vente et non pas à une diminution de la consommation, du moins en ce qui con-

cerne l'Angleterre et l'Allemagne, car ces deux pays importent chaque année des quantités croissantes de phosphates naturels.

Russie. — La Russie qui contient, comme on le sait, d'immenses gisements de phosphates, n'a aucune action sur le marché. Elle n'exporte pas ces matières, qui ne sont exploitées que pour les besoins locaux, encore très restreints.

Allemagne. — En ce qui concerne la production allemande, qui est presque uniquement concentrée dans les gisements classiques du Nassau, voici un tableau qui donne l'état de cette production depuis 1882 jusqu'en 1892 :

ANNÉE	PRODUCTION	PRIX MOYEN (en Marks) par tonne	VALEUR (en Marks)
	tonnes		
1882	35.129	27,48	962.182
1883	47.410	28,60	1.360.556
1884	53.807	27,20	1.469.730
1885	40.714	20,20	822.022
1886	35.281	21,94	774.057
1887	33.844	18,29	619.045
1888	30.656	21,40	656.154
1889	41.750	21,80	911.227
1890	37.131	19,66	729.962
1891	34.179	19,90	680.713
1892	15.134	18,55	278.786

Cette industrie est, on le voit, dans une période de décroissance bien marquée.

Angleterre. — La situation est comparable à celle de l'Allemagne. La production locale diminue constamment et tend à disparaître. Voici d'ailleurs un tableau indiquant la production des phosphates naturels en Angleterre, de 1882 à 1893 inclusivement :

Digitized by Google

ANNÉE	PRODUCTION (en tonnes angl.)	ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes angl.)	ANNÉE	PRODUCTION (en tonnes angl.)
1882	50.362	1886	20.328	1890	18.295
1883	50.393	1887	10.056	1891	10.164
1884	52.716	1888	22.870	1892	12.396
1885	30.492	1889	20.828	1893	3.353

On trouvera, à la fin du chapitre IV, la statistique des importations de phosphates naturels en Angleterre et en Allemagne. On verra que la production locale de ces deux pays ne représente plus qu'une proportion infime de leurs besoins annuels.

Belgique. — En Belgique, c'est la craie phosphatée qui constitue l'élément essentiel de la production.

Tableau de la production des phosphates naturels, en Belgique, de 1877 à 1893.

ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes)	ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes)	ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes)
1877	3.910	1883	59.800	1889	218.980
1878	5.720	1884	69.720	1890	301.210
1879	7.700	1885	162.250	1891	291.080
1880	15.745	1886	145.520	1892	268.210
1881	30.000	1887	166.900	1893	290.000
1882	41.050	1888	190.000		

L'enrichissement de cette craie par les divers procédés en usage actuellement étant décrit dans une autre partie de cette étude, je renvoie au chapitre relatif aux superphosphates, afin d'éviter des redites.

II. — Amérique du Nord.

Les trois centres de production de phosphates en Amérique, d'importance d'ailleurs très inégale, sont, par ordre croissant :

Le Canada;
La Caroline du Sud;
La Floride.

On en signale aussi dans le Tennessee.

Avant d'examiner les moyens de production de ces diverses contrées, il convient de jeter un coup d'œil d'ensemble sur la production des phosphates américains.

Considérations générales sur la production des phosphates américains. — Cette industrie s'est accrue, dans ces trois dernières années, dans de telles proportions, que la production des mines de la Floride domine, on peut le dire, les marchés du monde entier et en contrôle les prix.

D'autre part, comme on va le voir par la suite de cette étude, l'industrie des phosphates américains se trouve en ce moment dans une période de crise causée par l'abaissement général et persistant des prix de vente. La difficulté est de trouver le moyen de sortir de cette situation. Il est bon de remarquer que les industriels, tant de la Floride que de la Caroline du Sud et du Canada, se rendent parfaitement compte de l'état précaire de leur industrie et des causes qui ont amené cette situation.

Il faut citer, en première ligne, l'habitude, malheureusement si répandue de l'autre côté de l'Atlantique et qui fait un peu partie du mode de conception des affaires dans ces contrées-là, de ne s'attacher à produire que des phosphates — et en général des minerais — à haute teneur, de valeur élevée, de faire supporter à ces matières la totalité des frais de production et de laisser, comme sans valeur et sans emploi, les minerais de teneur médiocre ne pouvant pas supporter les frais de transport. On inonde dans ces conditions les marchés d'Amérique et d'Europe de produits riches qui provoquent aussitôt une baisse considérable de prix, baisse dont on essaie

Digitized by Google

d'atténuer les effets fâcheux par une diminution du prix de revient qu'on cherche naturellement à obtenir par le procédé classique d'un accroissement de production.

On ne fait ainsi qu'aggraver le mal, jusqu'à ce qu'une crise, amenant la disparition d'un certain nombre d'exploitants, ramène au moins pendant un certain temps une production plus modérée avec des cours normaux.

Nous voyons en ce moment ce phénomène arrivé à l'état aigu en ce qui concerne l'argent et jusqu'à un certain point le cuivre. Tout le monde sait que ce système de l'*écrémage appliqué aux minerais d'or* et d'argent a produit ces masses énormes de « tailings » que les procédés de plus en plus perfectionnés d'extraction ont permis de traiter de nouveau avec avantage jusqu'à trois ou quatre fois (Nevada, Comstock).

C'est sur un perfectionnement analogue que comptent les phosphatiers américains pour résoudre la question. Des efforts très réels sont tentés pour arriver à traiter sur place les phosphates de teneurs médiocres de manière à diminuer les frais de transport sur ces matières et permettre leur utilisation. On compte donc sur la diminution des prix de revient qui résultera de ce que les phosphates *pauvres pourront supporter* une partie des frais de production *des phosphates riches, pour abaisser le prix* de revient et arriver à faire des bénéfices suffisants, même aux prix actuels. La spéculation, escomptant ces résultats, continue à peser sur les cours et c'est là la principale cause de lourdeur. Bien qu'il y ait souvent loin de la coupe aux lèvres en fait de projets de ce genre, il est intéressant de constater quelle est actuellement l'orientation que se propose d'adopter le marché des phosphates américains.

Examinons, en attendant, quelle est la situation actuelle des producteurs.

Les derniers numéros de l'*Engineering and Mining*

Digitized by Google

Journal de 1891 ont exposé en détail les diverses phases de l'industrie des phosphates et cherché à donner une explication de sa situation anormale, pour ne pas dire désastreuse, à cette époque. Depuis, les conditions du marché ont encore empiré. La plupart des petits producteurs se trouvent acculés à l'alternative d'expédier leurs produits à perte, ou de fermer leurs chantiers. Telle est l'ironie du sort : Il y a cinq ou six ans, on se demandait où le monde trouverait les phosphates qui lui sont nécessaires et on accueillait avec joie la nouvelle de l'emploi possible des scories de déphosphoration. Aujourd'hui, c'est tout le contraire. Que fera-t-on des excédants de production de phosphates naturels riches, et pourra-t-on abaisser suffisamment leur prix pour supporter victorieusement la concurrence des scories basiques ou des autres résidus phosphatés industriels?

Après ce coup d'œil d'ensemble sur la situation du marché des phosphates du Nouveau-Monde, passons maintenant en revue les pays producteurs.

Canada.

On sait qu'on exploite dans cette colonie des gisements d'apatite cristallisée en poches et filons.

Géologie, mode de formation. — La question de la formation de ces gisements a donné lieu dans un récent Congrès (*) a une discussion intéressante dont il convient de présenter un résumé.

Les poches d'apatite se rencontrent dans des lits de pyroxénite, de puissances variables, mais extrêmement réguliers, qui se trouvent en stratification concordante dans

(*) *American Institute of Mining Engineers.* Année 1892.

Digitized by Google

le gneiss. Les calcaires paléozoïques sur lesquels reposent ces gneiss sont Laurentiens. Mr H.-G. Vernon a démontré d'ailleurs que les gneiss eux-mêmes sont pénétrés par de nombreux cristaux d'apatite.

La plupart des géologues canadiens considèrent ces apatites comme d'origine sédimentaire dans la mer paléozoïque. Elles auraient ensuite été soumises à des conditions de température et de pression, qui ont amené la formation de nombreux plis synclinaux et anticlinaux, en même temps que la *métamorphisation qui a transformé* les caractères *primitifs* de ce dépôt. L'opinion contraire attribuant au pyroxène une origine filonienne, dans laquelle l'apatite, à titre de minéralisation accessoire, serait venue remplir les fissures et crevasses produites par l'action éruptive, soit par sublimation, soit par injection à l'état pâteux, ne rencontre plus guère que des opposants. Cette théorie est loin en effet de répondre d'une manière satisfaisante aux faits constatés.

D'après Mr Walter B. M. Davidson, il y a eu postérieurement au dépôt sédimentaire des phosphates dans le gneiss, par suite de la pression produite par les terrains ultérieurement déposés, ainsi que par les plissements et *le développement de chaleur* qui en a été la conséquence, une *modification dans la constitution de ces phosphates*, qui a amené leur séparation sous forme de cristaux d'apatite, au sein d'un magma plastique, permettant aux divers minéraux de s'associer suivant leurs affinités respectives. Dans cette hypothèse, les poches d'apatite indépendantes des couches environnantes, ou qui ne leur sont reliées que par de minces filets, parfois même en sont complètement séparées, ne seraient que le produit du remplissage des vides résultant des plissements, principalement dans le voisinage des plis synclinaux et anticlinaux. L'apatite serait venue s'y déposer en masses à l'époque du métamorphisme qui a amené la cristallisa-

tion, par suite de la grande tendance que présentaient les cristaux de cette espèce minérale à se séparer de la masse plastique.

Cette théorie rendrait bien compte aussi de la formation des cristaux des espèces communément associées à l'apatite, à savoir l'oxyde magnétique, le pyroxène, le mica, etc.

La présence de nodules arrondis de phosphate de chaux non cristallisé au centre de certains cristaux d'apatite trouvés dans l'exploitation des poches, s'expliquerait alors par l'existence, à l'époque du dépôt, de coprolites qui auraient servi ultérieurement de centre de cristallisation à l'apatite.

Dans dans son *Manual of Geology*, sir Willams Logan dans sa *Geology of Canada*, ont fait ressortir les faits qui paraissent établir que les eaux dans lesquelles s'opéraient les dépôts de cette époque, étaient extrêmement riches en phosphate. La grande prédominance dans l'époque primitive du genre *Lingula* et d'autres Brachiopodes dont les coquilles contenaient une forte proportion de phosphate est à leurs yeux une preuve de la plus grande densité des eaux. Le fait avait d'ailleurs été déjà signalé par Hunt. La *Lingula ovalis* en question contenait 82,79 p. 100 de phosphate tribasique, 11,75 de carbonate de chaux et 2,80 de phosphate de magnésie. Les coquilles transparentes à cassure cornée, de *Lingula*, d'*Orbicula*, de *Conularia* et de *Serpulites*, diffèrent entièrement de celles des autres mollusques et renferment des quantités de phosphate de chaux qui leur assignent une composition analogue à celle des ossements des vertébrés. Cette preuve me parait faible, depuis qu'il a été démontré que les fossiles, aussi bien les coquilles de mollusques que les ossements de vertébrés, quand ils se trouvent dans un milieu phosphaté, concentrent, dans les périodes géologiques ultérieures, l'acide phosphorique dans leur

Digitized by Google

propre substance. C'est même un procédé de durcissement des fossiles friables.

État décroissant de l'exploitation. — Pour en revenir à ce qui est relatif à l'exploitation proprement dite des gisements de phosphate du Canada, on doit avouer que cette industrie ne souffre pas uniquement de la dépression plus ou moins transitoire des cours et de certaines anomalies commerciales. Il faut, au contraire, reconnaître que cette industrie, qui a décliné d'une façon bien marquée depuis 1890, en raison directe du développement des riches gisements de la Floride, ne donne plus, à présent, que des pertes. Il y a d'ailleurs peu d'espoir de voir les prix de vente remonter à ce qu'ils étaient avant 1890.

M. Lanson Wills (*) a toujours ardemment défendu l'idée d'utiliser sur place les apatites en les transformant en superphosphates au lieu de les exporter en Europe, et il voit dans cette solution le seul moyen de relever cette industrie de l'état de dépression où elle se trouve.

Le principal obstacle à l'industrie des phosphates du Canada est, en outre de leur mode irrégulier de gisement, l'obligation, que leur créent à la fois la cherté des transports et les habitudes commerciales, de ne considérer comme marchands et bons à exporter que les produits contenant 80 p. 100 de phosphate tribasique. Cette teneur ne peut s'obtenir qu'avec de grands frais et un énorme déchet de matières à basses teneurs, inutilisables, qui s'amoncellent sur les décharges des mines. En fait, tout minerai n'ayant pas au moins 60 p. 100 de tribasique est de nulle valeur au Canada, n'étant pas susceptible de supporter les frais de transport.

Pendant l'année 1893, deux Compagnies seules ont continué leurs travaux dans le district de la *Lièvre River*

(*) *Amer. Instit. of Min. Engin.*, XXI, p. 1001, 1892.

et encore l'une d'elle n'a-t elle exploité que pendant une partie de l'année.

On a tenté d'améliorer les procédés de lavage et il en est résulté quelques expéditions ayant donné une teneur de 87,83 p. 100 de tribasique, ce qui est le plus haut chiffre qui ait jamais été atteint au Canada. Il y a eu aussi quelques demandes de phosphates pauvres pour le marché de Chicago; les déchets laissés comme sans valeur sur les mines y ont largement suffi.

L'irrégularité des poches contenant l'apatite, l'obligation d'avoir un grand développement de travaux de recherches qui en est la conséquence, sont les causes principales de l'état de marasme où se trouve en ce moment l'industrie des phosphates au Canada. La Bristish Phosphate C[y] a fait cependant quelques recherches heureuses au moyen du sondage au diamant. En fait les exportations en 1893 se sont réduites à 7.890 tonnes dont 5.190 pour l'Angleterre et le Continent, 400 pour les usages locaux et 2.300 tonnes pour Chicago.

Statistique de la production de 1878 *à* 1893. — Le tableau ci-dessous, qui donne la production des phosphates de chaux du Canada depuis 1878, montre que cette industrie est en ce moment dans un état de déclin complet et qu'elle n'a eu une époque brillante que dans les périodes où les prix de vente se maintenaient à des taux qu'on ne reverra plus.

ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes)	ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes)	ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes)	ANNÉES	PRODUCTION (en tonnes)
1878	10.734	1882	17.153	1886	20.440	1890	28.457
1879	8.446	1883	19.716	1887	23.152	1891	17 271
1880	13·060	1884	21.709	1888	18.776	1892	8.530
1881	11.968	1885	28.969	1889	29.987	1893	7.890

Digitized by Google

Caroline du Sud.

Formation et mode de gisement des nodules. — Les gisements de phosphate de la Caroline du Sud se rencontrent dans le terrain miocène. Ils proviennent du transport, après désagrégation, des calcaires phosphatés éocènes de Wicksburg et de leur dépôt dans un estuaire miocène peu profond, en mélange avec des proportions variables de sable et d'argile. Cet horizon est peu fossilifère et les fossiles qu'on y trouve sont presque invariablement non pas des pseudomorphoses, mais des moules dont le carbonate de chaux a été ultérieurement dissous par l'action des eaux acides. Les calcaires de Wicksburg, qui forment une assise à peu près continue sur toute la côte Est de l'Atlantique, sont très phosphatés. Par l'action dissolvante des eaux superficielles — action sur laquelle nous nous étendrons davantage à propos des phosphates de la Floride — il s'est produit une dissolution plus ou moins complète du carbonate de chaux, laissant le phosphate inattaqué. Cette action doit être toujours présente à l'esprit quand on étudie les formations des phosphates dans tous les pays, car elle y a joué un rôle capital qui se dégage d'autant mieux que l'étude en est plus complète. Cette constatation n'est d'ailleurs pas nouvelle. On la trouve déjà exposée dans la description classique des phosphates des environs de Mons : M. F.-L. Cornet y a fait ressortir avec beaucoup d'ingéniosité le rôle des eaux dissolvantes dans la constitution de ces gites.

J'ai été personnellement amené, au cours de mon voyage en Tunisie, à constater une fois de plus le rôle de ces eaux dans la formation des parties riches des gisements de cette contrée. On verra plus loin que leur action a été aussi des plus nettes dans la constitution du phosphate en roche de la Floride.

Pour en revenir aux phosphates de la Caroline, il convient d'indiquer, à propos de leur formation pélagique et d'estuaire, qu'après l'époque du dépôt des phosphates en couche, et par suite de l'exhaussement graduel du sol, la végétation et la vie pendant la période pliocène et quaternaire se développant dans des marécages, les nombreux ossements fossiles de cette époque se sont trouvés enfouis dans des couches phosphatées, antérieurement déposées, et y ont échangé leur carbonate de chaux contre du phosphate de chaux qui a rempli leurs pores et les a préservés d'une destruction ultérieure. Il résulte de là que le phosphate de chaux de ces gisements n'a pas pour origine des accumulations d'ossements, que ce sont ces derniers au contraire, déposés postérieurement, qui ont été préservés par le phosphate de chaux qui les a fossilisés. L'existence de ce phénomène est corroborée par le fait que ces fossiles contiennent une quantité d'acide phosphorique beaucoup plus élevée que celle qu'ils pouvaient contenir dans leur état originaire. Leur présence est donc un effet au lieu d'être une cause, comme on l'a cru pendant longtemps. Le fait d'ailleurs se produit encore à l'époque actuelle : M. Davidson signale en effet dans les dépôts ou barres de phosphates en nodules (pebble phosphate) du lit de la Peace River, en Floride, des dents et des ossements de porc et de bétail contemporains, ainsi que de grandes quantités de bois de daim d'espèce actuelle. Tous ces débris présentent le phénomène de fossilisation et de durcissement superficiel par le phosphate de chaux, tandis que l'intérieur offre encore la composition et la dureté des ossements ordinaires.

Il est curieux de constater encore dans ce cas la prédilection du phosphate de chaux à se mouvoir dans un certain cycle, à s'agglomérer sur certains points, dans certaines conditions encore mal définies, mais cependant bien constatées.

Digitized by Google

Diminution de la production. — Avant la découverte des phosphates de la Floride, les gisements de la Caroline du Sud fournissaient environ le cinquième de la consommation du monde entier. Leur produit convenait parfaitement pour la fabrication des superphosphates à 13 p. 100 d'acide phosphorique. L'exportation annuelle s'élevait à 150.000 tonnes.

Les phosphates très riches du Canada, de Norvège, d'Aruba, du Sombrero et de la Somme suffisaient pour relever le titre des phosphates pauvres de France, de Belgique et d'Angleterre. Tel était l'équilibre à l'époque, et les prix pour les phosphates de 75 à 80 p. 100 étaient fixés à 1^sh^,3 par unité avec variation de $\frac{1}{8}$ de penny par unité ou fraction d'unité au delà de ce titre. Les affaires de phosphates étaient alors très prospères. La Compagnie d'Aruba déclarait pour l'année 1890-91 un dividende de 72 p. 100.

Depuis cette époque, la Floride a triplé sa production, a fait descendre les prix jusqu'à 8^d^ par unité pour le 75 p. 100 et s'est imposée au marché européen. Le contrecoup sur la production de la Caroline du Sud a été immédiat. La progression régulière qui avait caractérisé dans cette région la période décennale de 1880 à 1890, passant respectivement de 190.000 à 586.000 tonnes, a fait face à un état stationnaire, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

Tableau de la production des phosphates de la Caroline du Sud, de 1867 à 1893
(en Long tons de 1.015 kilogrammes).

ANNÉES	PRODUCTION	ANNÉES	PRODUCTION	ANNÉES	PRODUCTION	ANNÉES	PRODUCTION
1867	6	1874	109.340	1881	266.734	1887	480.558
1868	12.262	1875	122.790	1882	332.077	1888	448.567
1869	31.958	1876	132.478	1883	378.380	1889	541.645
1870	65.241	1877	163.000	1884	431.779	1890	586.758
1871	74.188	1878	210.322	1885	395.403	1891	572.949
1872	58.760	1879	199.365	85 (juin-déc.)	277.789	1892	548.396
1873	79.203	1880	190.763	1886	430.549	1893	556.883

Redevance due à l'État. — Il y avait en outre, en 1892, de forts stocks non exportés qui figurent dans la production de 1893. Le rapport du Gouverneur de l'État à la Commission des Phosphates estime ce stock de 80 à 100.000 tonnes.

« Nonobstant, dit ce rapport, le fait que les opérations « des Compagnies n'ont pas porté sur la Coosaw River, « pendant plus de la moitié de l'exercice, l'ouverture de « cette rivière à toutes les Compagnies à partir de juillet, « a produit un accroissement dans les chiffres totaux de « production plus grand que jamais. Mais comme la Loi « n'exige le payement de la redevance (*) que lorsque le « phosphate est embarqué et envoyé sur les marchés, le « revenu de l'État est moindre cette année. Le phosphate « a été extrait, mais il n'est pas vendu à cause des cours « extrêmement bas du moment. Il y a dix-huit mois, c'est-« à-dire lorsque les difficultés litigieuses du Coosaw se « sont produites, le prix du phosphate en roche était de « plus de $ 7 par tonne. Il est aujourd'hui aux environs de « 3$,50 et les mineurs qui ne veulent pas accepter ce prix, « mettent leurs produits en stock dans l'attente d'une « hausse.

« Nous ne vous proposerons pas, pour le moment, une « diminution de redevance, mais elle peut devenir néces-« saire à courte échéance (Rapport pour 1892) ».

Prix de revient en 1892. — Le prix de revient de 1 tonne de phosphate de la Caroline du Sud f. o. b., Beaufort ou Charleston, a été en 1892 de 3$,50. Le prix de vente était de 12 cents l'unité, minerai rendu dans un port d'Europe. Ce prix était fixé par les mineurs de la Caroline du Sud eux-mêmes, dans le but de couper les débouchés à la Floride. Il laissait une perte d'environ

(*) Cette redevance était, en 1892, de 1 dollar par tonne.

Digitized by Google

2 francs par tonne vendue, ainsi qu'il résulte du prix de revient ci-dessous :

Prix de revient. — F. o. b. Charleston. .	$ 3,50 par tonne de 1015^{kg}
Fret.	3,25
Assurance, escompte, commissions, pesage et échantillonnage, humidité, etc., 7 p. 100, sur 6$,75 soit .	0,47
Total.	$ 7,22
Prix de vente. — 1 tonne à 57 p. 100, à 12 cents par unité	$ 6,84
Perte par tonne	$ 0,38

Telle était la situation au commencement de 1893. D'une part, stocks invendus ; d'autre part, prix non rémunérateurs, enfin difficultés avec l'État pour le payement de la redevance jugée trop onéreuse dans les conditions actuelles du marché.

L'exploitation des phosphates de la Caroline du Sud n'a rien présenté de particulier pendant le premier semestre de 1893. La baisse de prix avait amené un certain nombre de petits exploitants à cesser leurs travaux ; en revanche, la « Charleston Mining Company » avait commencé, en vue d'améliorer son prix de revient, la construction d'un grand atelier de lavage et de séchage, qui d'ailleurs, n'a pas fonctionné en 1893. Cette Compagnie et la Coosaw C^{y} contrôlent le marché de la Caroline. Un événement imprévu est venu changer la face des choses.

Cyclone du 27 *août* 1893. — Le 27 août 1893, un cyclone, qui a dévasté les côtes de la Caroline du Sud, a détruit le matériel de dragues et de séchoirs des exploitants de phosphates. A la suite de cette catastrophe, les mineurs réclamèrent plus énergiquement que jamais une diminution de moitié dans la redevance de $ 1 par tonne,

Digitized by Google

pour leur permettre de relever leurs établissements ruinés, en présence surtout de la concurrence des phosphates de la Floride. Enfin nombre de petites exploitations disparurent à la suite de ce cas de force majeure.

Diminution de 50 *p.* 100 *de la redevance.* — Cette question de redevance n'a été réglée qu'en décembre 1893, époque à laquelle les intéressés ont accepté un compromis aux termes duquel la redevance a été fixée à 50 cents par tonne pour une période de cinq années, à condition que le prix du phosphate sur le carreau de la mine ne remonte pas, pendant cette période, au-dessus de $ 4 par tonne. Toutes les compagnies sauf une (The Farmer's Cy), ont attendu la conclusion de l'arrangement pour reprendre les travaux, de sorte que l'extraction a été en réalité complètement arrêtée depuis le 27 août 1893. Il en est résulté l'écoulement du stock et une certaine amélioration dans les prix, dont les mineurs de phosphate en roche, qui avaient arrêté aussi à cause des prix insuffisants, ont profité pour reprendre leur exploitation avec un nouveau matériel et même augmenter leur production habituelle. La question est de savoir si lorsque toutes les exploitations, tant de rivière que de « hard rock », auront repris concurremment avec la Floride, la totalité de cette énorme production pourra s'écouler sans faire de nouveau fléchir les prix. Il est certain en tout cas, qu'avec le nouveau matériel, les exploitants de la Caroline pourront lutter avec plus d'avantages que par le passé.

Capacité actuelle de production de la Caroline du Sud. — Voici, d'après M. Rothwell, la liste des compagnies qui exploitent actuellement les phosphates de la Caroline du Sud, avec en regard, leur capacité maxima de production annuelle :

NOMS DES COMPAGNIES exploitantes	CAPACITÉ annuelle	NOMS DES COMPAGNIES exploitantes	CAPACITÉ annuelle
	tonn.		tonn.
Charleston Mining and Manufacturing Cy	100.000	*Report*	325.000
William Greg	15.000	E. B. Fishburne	20.000
C. C. Pickney Jr	30.000	Horseshoe Mine	20.000
Charles H. Dray Son	15.000	Meadville Mines	20.000
Rose Mining Cy	15.000	Morent Holles Mines	15.000
William L. Bradley	30.000	Palmetto Mines	10.000
St Andrew's Mines	20.000	Beaufort phosphate Cy	25.000
Bolton mines	20.000	Coosaw Cy	150.000
Wando phosphate Cy	15.000	Phosphate Mining Cy Ld	50.000
C. O. Campbell	15 000	Farmer's Cy	25.000
E. C. Williams	5.000	Bear Swamp Mt Cy	12.000
Archdale Cy	15.000	W. Y. Fripp's Cy	5 000
Eureka Mine	15.000	Willman's Island Cy	15.000
Dotterer Mine	15.000	St Helena Cy	10.000
A reporter	325.000	Total	702.000

J'ai dit déjà que les phosphates de la Caroline se prêtent particulièrement bien à la fabrication des superphosphates. En fait, il ne vient guère sur les marchés d'Europe que le quart de la production de cette contrée, le reste est, soit exporté à l'état naturel aux États-Unis, soit traité sur place pour superphosphate et consommé sous cette forme de l'autre côté de l'Atlantique.

Répartition des phosphates de la Caroline du Sud dans la consommation. — Voici d'ailleurs le tableau donnant pour les cinq dernières années, la répartition de ces phosphates dans la consommation (tonnes de 1.015kg) :

ANNÉES	EXPÉDITIONS à l'étranger	EXPÉDITIONS aux États-Unis	EXPÉDITIONS traités sur place	TOTAL consommé aux États-Unis	TOTAL général
1889	143.002	308.643	90.000	398.643	541.645
1890	219.822	250.936	116.000	366.936	586.758
1891	126.798	295.151	151.000	446 151	572.949
1892	124 454	242.942	181.000	423.942	548.396
1893	157.371	234.512	165.000	399.512	556.883
Totaux	771.447	1.302.184	703.000	2.035.184	2.776.636

Ports d'exportation. — L'exportation se fait par deux

Digitized by Google

ports : Charleston et Beaufort. C'est par ce dernier port seulement que se font les envois en Europe. Les produits sortant par Charleston sont uniquement dirigés sur les ports de l'Union.

DESTINATION EN 1893	CHARLESTON	BEAUFORT	TOTAL
Exportation sur les ports de l'Europe.	»	157.371	157 371
— — de l'Union. .	159.000	75.512	234.512
Consommation locale	150.000	15.000	165.000
Totaux.	309.000	247.883	556.883

Analyse de ces phosphates. — Teneur moyenne des nodules de la Caroline du Sud (analyse de M. le D^r^ C.-W. Shepard de Charleston S. C.) :

Acide phosphorique.	25	à	28 p. 100	(=55 à 61 p. 100 de tribasique)
Acide carbonique.	5	à	11	
Acide sulfurique.	0,5	à	2	
Chaux	35	à	42	
Magnésie.	traces	à	2	
Alumine.	traces	à	2	
Sesquioxyde de fer	1	à	4	
Fluorine.	1	à	2	
Sable et silice.	4	à	12	
Matières org. et eau combinée.	2	à	6	
Humidité.	0,5	à	4	

Gisements de la Floride.

Historique. — Le phosphate de chaux n'est exploité en Floride que depuis 1890, mais sa découverte remonte à dix années environ avant cette date. D'après M. David Day (Mineral resources of The United States 1887-88) ce serait en 1879 que M. le D^r^ C.-A. Simmons de Hawthorn (Fla) aurait découvert que les principales carrières de pierre à bâtir de la Floride centrale contenaient une proportion considérable d'acide phosphorique. Dès cette époque (1887) M. David Day faisait pressentir la conti-

Digitized by Google

nuité et l'importance de ces gîtes et en conseillait le développement immédiat.

D'autre part, un ingénieur français, M. Francis Le Baron, de Jacksonville (Fla) avait signalé dès 1884 les gisements de phosphate d'os fossiles formant les barres de la Peace River et en envoyait même à cette époque plusieurs barils à la « Smithsonian Institution » à Washington. Cet ingénieur, retourné sur les lieux en 1886, fit même des cubages et des évaluations des bénéfices à retirer de l'exploitation de ces gisements superficiels. Sur l'annonce de ces faits le Col. T.-S. Menchaed installa en 1887 l'exploitation des nodules et fit, en mai 1888, son premier envoi à la Scott Manufacturing C[y] à Atalanta (Géorgie).

En juin 1889, M. Albertus Vogt découvrit le phosphate en roche (hard-rock phosphate) en creusant un puits pour eau potable à 20 milles environ au sud-ouest d'Ocala, petite ville du centre de la Floride, près de Silver Spring, qui n'était connue aux États-Unis que comme le lieu d'où avait été lancé le programme du nouveau parti politique connu sous le nom de « Farmer's Alliance. » (Voir la carte de la Floride (Pl. IV, *fig.* 1.)

Sur l'initiative de M. John F. Dunn d'Ocala, la Société *Dunellon Phosphate C[y] fut créée pour acheter et exploiter* plusieurs milliers d'acres situés sur l'alignement des « hard-rock phosphates ».

Depuis cette époque, les diverses natures de phosphate, en roches et en nodules, ont été activement prospectées et celles-là reconnues sur une longueur de plus de 200 milles sur 6 de large. Cette bande se développe parallèlement à la côte est de la Floride à une distance moyenne de 26 milles et s'étend depuis le voisinage de Richland (Pasco County) au nord, jusqu'aux environs de la rivière Apalachicola en s'infléchissant vers l'ouest et le sud.

La région qui attire le plus l'attention en ce moment se trouve au sud de celle des phosphates en roche, dans le voisinage de Bartow (Palk County). C'est le gisement le plus important de nodules (Land pebble) dont la reconnaissance a été commencée en 1890.

Dès 1892 les phosphates, soit en roche, soit en nodules, étaient reconnus, avec des teneurs et valeurs diverses, bien au delà des rivières Apalachicola à l'ouest et au nord et Caloosahatchee au sud.

Dans tous ces districts, représentant une longueur totale de 400 milles, l'exploitation a été fiévreusement entreprise et les expéditions, non seulement sur les marchés de l'Union, mais pour l'Europe, ont pris un essor rapide.

Topographie. — La Floride, prise dans son ensemble, se compose de deux parties distinctes, de surfaces très différentes. La partie nord-ouest de l'État n'est que la continuation de la formation côtière des États voisins, en bordure sur l'Atlantique. Cette portion relativement haute du territoire ne dépasse guère 40 milles au sud de la limite de l'État.

Plus au sud commencent les immenses prairies basses, marécageuses, boisées, qui couvrent le pays et qui lui donnent une apparence de monotonie particulière; enfin, à l'extrême sud, le pays est formé de savanes immergées.

Dans la partie méridionale de la Floride, s'avançant comme le musoir d'un quai, les coraux, qui se sont successivement édifiés autour de la péninsule, ont retenu dans l'intérieur des étangs, des marais et des lacs d'une étendue très considérable, dont la superficie et les contours changent constamment avec les saisons et les années, suivant l'abondance des pluies et la durée des sécheresses. Le plus grand des lacs, l'Okeechobee, évalué en moyenne à 3.000 kilomètres carrés et continué au sud

par un dédale de marais dit les « Everglades » est assez vaste pour interrompre complètement les communications entre les deux moitiés de la péninsule. Des forêts épaisses croissent sur les terres asséchées entre les nappes d'eau et des roselières emplissent toutes les criques vaseuses. Les plus grands creux du lac Okeechobee ne dépassent pas 4 mètres (*).

C'est au sein de ces marécages qui, au dire d'Alexandre Agassiz, étaient encore si peu connus il y a quelques années seulement, qu'aucun explorateur scientifique n'avait encore, dans cette région, traversé la péninsule de part en part (**), que viennent s'installer les curieuses exploitations par dragages aspirants que j'ai sommairement décrites page 113.

Les cours d'eau les plus importants sont, sur la côte est, ceux de Saint-Johns et de Kissimmee actuellement réunis par un canal, communiquant aussi avec le golfe de Floride par la rivière Caloosahatchee qui sert d'exutoire au lac Okeechobee. Sur la côte ouest, on remarque la Peace River, célèbre par ses gisements de nodules et les rivières Santa-Fé, Suwanee et Withlacoochee.

Les lignes de partage des eaux de ces diverses rivières ne dépassent pas une altitude de 80 à 100 mètres audessus du niveau de la mer, de sorte que l'orographie du pays n'est pas facile à discerner à première vue, d'autant plus que les rivières sont généralement encaissées dans des berges à pic.

Géologie. — A l'exception des dépôts de nodules de Blackcreek situés à 25 milles environ au sud-sud-ouest de Jacksonville, près de la côte est, la totalité des gise-

---

(*) Élisée Reclus. *Géographie universelle*, t. XVI, p. 146.

(**) Alex. Agassiz. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoölogy*, vol. XIV, t. VII, 1890.

Digitized by Google

ments reconnus se trouve dans la partie ouest de la péninsule. La formation phosphatée, essentiellement tertiaire et quaternaire, se poursuit dans plusieurs niveaux géologiques.

Eocène. — Entre Dade City et la limite nord de l'État, la formation éocène est représentée par de vastes dépôts de calcaire compact, ne présentant pas de plans de stratification. Ces calcaires ont été soumis à de puissantes érosions, non seulement superficielles, mais aussi souterraines.

La roche est traversée par de nombreuses crevasses, fissures, rivières souterraines, qui ont produit de non moins nombreux affaissements. Il en résulte une surface ondulée et irrégulière dont les accumulations ultérieures de sables ont rendu le relief plus sensible encore.

Ces actions souterraines se continuent dans la période actuelle.

En plusieurs endroits les fissures et les galeries des roches calcaires ont laissé fuir les étangs, et les marins connaissent dans les parages floridiens d'abondantes sources d'eau douce qui jaillissent du fond de la mer. Parfois, après de grandes pluies, ces fontaines salissent au loin les flots de leur onde jaunâtre et causent une grande mortalité dans la faune marine. L'une d'elles, à 7 kilomètres au sud de Sainte-Augustine et seulement à 1.400 mètres de la plage, recouvre de son flot bouillonnant un espace de 2.000 mètres carrés; les sondes ordinaires n'en ont pas trouvé le fond (*).

Les fossiles de l'éocène comprennent des Nummulites, des Orbitoïdes, des Echinodermes et des quantités de mollusques. La puissance de la formation est variable, néanmoins on a pénétré sur divers points à des profondeurs atteignant jusqu'à 150 mètres sans la traverser.

(*) Élisée Reclus. *Géographie universelle*, t. XVI, p. 146.

Digitized by Google

Ce terrain a été, en thèse générale, profondément modifié par les réactions chimiques auxquelles il a été constamment exposé, réactions qui ont éliminé certaines parties constituantes et qui en ont aussi introduit de nouvelles.

Les limites entre le miocène et l'éocène sont assez difficiles à tracer à cause des innombrables marais qui couvrent le pays. Le contour figuré sur la carte n'est donc qu'approximatif.

Miocène. — Au-dessus de cette formation éocène avec phosphate en roche, apparait le miocène formé de minces couches horizontales de calcaire. C'est la région marécageuse par excellence. L'altitude moyenne des dépôts de phosphates que renferme ce terrain ne dépasse pas 25 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Le miocène de la Floride se divise nettement en deux parties, sa formation inférieure intéressant seule les phosphates. Elle est formée, comme nous l'avons dit, de bancs calcaires stratifiés horizontalement en lits minces de 12 à 15 centimètres d'épaisseur constitués par un calcaire assez dur, peu altérable, alternant avec des parties plus tendres, plus poreuses, souvent marneuses.

Comme celui de l'éocène, ce calcaire a été transformé, dans certaines de ses parties, en phosphate de chaux très riche ; seulement la structure en lits horizontaux s'est conservée dans les parties transformées en phosphates, ce qui n'a pas lieu dans l'éocène. Les fossiles comprennent, en outre des genres *Hemicardium*, *Orthaulax*, d'autres mollusques très nombreux, plus une espèce tout à fait caractéristique d'Orbitolites. Le miocène est d'ailleurs confiné dans le nord et l'ouest de l'État. Son épaisseur parait beaucoup moindre que celle de l'éocène. Il est recouvert, dans le nord, par les sables rouges et les argiles de la série de Lafayette.

Digitized by Google

Pliocène. — Les divers termes de la série pliocénique sont représentés en Floride, par des marnes, des argiles et des calcaires; on n'y trouve en fait de phosphates que le niveau connu sous le nom de « pebble rock » roche à graviers, ou mieux à nodules. C'est une des sources importantes de l'exploitation des phosphates. Les localités types de ce genre de dépôt sont les parties supérieures des vallées des rivières Peace, Alafia et Manatee. Il se compose en général d'une couche non stratifiée d'argile plus ou moins sableuse contenant les graviers de phosphates : graviers et argile sont de couleur claire. La gangue est de nature poreuse, tendre et friable, facile à séparer par lavage des graviers de phosphate, pourvu que l'opération se fasse au moment de l'abatage. Exposée à l'air, la masse devient dure en perdant son eau d'imprégnation.

La puissance de cette formation est assez variable. Elle atteint, dans certains points, plus de 10 mètres. La proportion des graviers de phosphate s'élève à 40 p. 100 du poids de la masse. Quant à la détermination des limites de cette curieuse formation, elle n'a pas encore été faite d'une manière complète, et il n'est pas douteux qu'elle se continue sur d'autres points analogues au gisement type tracé sur la carte. On a signalé tout récemment des dépôts importants de ce genre, au nord de l'État, dans le voisinage de Waldo et de Stack. Il n'a pas encore été possible de déterminer, d'une manière exacte, la position de cette formation dans l'étage éocène; d'après M. W.-H. Dall, elle appartiendrait au pliocène moyen. Elle est, en tout cas, en stratification discordante avec le miocène et l'éocène.

Les argiles et marnes du pliocène sont jaunes ou blanches, nettement stratifiées et très riches en fossiles. Dans certaines régions, on y trouve des niveaux de phosphate en grains et graviers d'un aspect différent de ceux décrits

Digitized by Google

plus haut et répandus sur de vastes surfaces en dehors des lits des rivières actuelles. C'est surtout au Sud, dans la région des rivières Peace et Caloosahatchee qu'on trouve ces « land pebble ». L'épaisseur des marnes pliocènes est encore inconnue.

Terrains actuels. — Les terrains de formation actuelle comprennent les sables superficiels, les dépôts de sables et de graviers phosphatés occupant les anciens lits de rivières, formant les marécages d'à présent et enfin les sables et graviers phosphatés des lits actuels de rivières.

Description des gisements.

On distingue quatre sortes de phosphates désignées sous les noms suivants :

Phosphate en roche (*Hard Rock*) ;
Phosphate tendre (*Soft phosphate*) ;
Nodules en couches (*Land pebble*) ;
Nodules de rivière (*River pebble*).

Nous allons examiner successivement ces quatre classes.

Phosphate en roche (*Hard Rock*). — Le phosphate en roche type est dur, compact, à grain fin et homogène, généralement d'un *jaune clair*, présentant des cavités irrégulières très souvent tapissées d'incrustations mamelonnées de phosphate de chaux. L'aspect général rappelle celui d'un calcaire provenant de dépôts hydrothermaux récents. Les incrustations des cavités présentent tous les degrés de développement depuis une mince couche jusqu'à des dépôts épais et rubanés. Ces cavités sont souvent remplies de phosphate amorphe d'aspect

Digitized by Google

argileux provenant du transport par les eaux de particules de phosphate en suspension.

La teneur en acide phosphorique dans le phosphate en roche est d'environ 36 p. 100 et ne s'éloigne pas beaucoup de ce chiffre soit en plus, soit en moins.

La couleur du *hard rock* est variable. On trouve dans le même point des échantillons variant du brun très clair et même du jaune, au gris bleuâtre ou au brun foncé. Ce n'est pas la teneur en fer qui en est la cause, car l'analyse démontre que tous ces phosphates de couleurs si diverses contiennent à peu de chose près la même quantité de fer répartie uniformément dans toute la masse et toujours en faible proportion. Ce sont des matières organiques qui sont la cause principale de ces apparences variées dans la coloration. L'étude de la nature de ces matières est encore à faire et leur origine animale, végétale ou minérale reste aussi à déterminer. Je rappelle à ce propos que les marnes brunes feuilletées à coprolithes de la base du nummulitique en Algérie contiennent jusqu'à 7 et 8 p. 100 d'une matière organique grasse, onctueuse au toucher, insoluble dans le sulfure de carbone et dans la benzine.

Pour en revenir à la description du *hard rock*, signalons la présence dans cette roche de cavités lenticulaires assez fréquentes dans certaines parties pour lui donner un aspect spongieux ; ces cavités sont des moules d'une petite Nummulite éocène. On y distingue aussi des Orbitolites, autre fossile caractéristique de l'éocène. Ces formes se retrouvent dans les phosphates miocènes ; on les rencontre à toutes les étapes de dissolution. Ce caractère donne une preuve indiscutable de l'origine et de l'âge de ces phosphates : ce sont des produits d'altération des calcaires miocènes et éocènes.

Aire de gisement du Hard Rock. — Les dépôts du *hard*

Digitized by

rock dans l'éocène se trouvent concentrés dans une bande étroite d'environ 230 kilomètres de longueur à peu près parallèle à la côte ouest de la Floride et à une distance de la mer variant entre 40 et 80 kilomètres. Envisagé dans son ensemble, le hard rock se présente comme une brèche à galets cimentée par une gangue composée de sable phosphaté, d'argile ou d'autres matières détritiques provenant de la désagrégation du hard rock et qui constituent le phosphate tendre. Les divers éléments de cette brèche sont mélangés sans qu'on y puisse définir aucun ordre apparent. On constate cependant que les sables superficiels contiennent moins de hard rock que la formation en galets (boulders) qui vient immédiatement au-dessous et qui est fréquemment en stratification discordante avec eux. La plus grande épaisseur reconnue pour ce gisement curieux est de 20 mètres, mais cette dimension varie énormément d'un endroit à l'autre. Les sables superficiels ont en moyenne 3 mètres de puissance.

Les galets, qui forment la majeure partie de cette brèche sont de couleur blanche; ils varient depuis 50 millimètres de diamètre jusqu'à des blocs de 3 mètres cubes. J'ai dit plus haut qu'ils ne présentent aucune loi d'orientation ou de classement caractéristiques d'un dépôt en eau tranquille. Leur cassure offre toutes les variétés possibles : grenue, conchoïdale, etc. Ils présentent aussi tous les degrés de décomposition.

En outre du *soft phosphate* proprement dit, la matière qui constitue le remplissage entre les galets contient du quartz blanc plus ou moins aggloméré par un ciment phosphaté de couleur blanche et par de l'argile de coloration très variable, bleue, verte ou orange. On trouve ce mélange en grands dépôts irréguliers englobant aussi des galets au milieu de la masse du gisement. Toutes ces matières sont d'ailleurs plus ou moins compénétrées de phosphate provenant de la démolition des « boulders ».

Les cavités et anfractuosités de ces galets sont remplies elles-mêmes par du sable ou de l'argile. Le sable est éliminé en grande partie par le cassage. La séparation de l'argile, même après calcination, est plus difficile. On a néanmoins commencé à organiser le débourbage des boulders, opération qui ne se faisait pas en 1892.

Toute cette description prouve d'une manière claire que le phosphate hard rock est un gite de transport. La forme de cette sorte de rivière à gros galets est actuellement définie, ainsi que les portions réellement exploitables et riches. La teneur moyenne du phosphate hard rock étant de 36 p. 100 d'acide phosphorique, celle du soft phosphate ne dépasse guère 23 p. 100.

Phosphates miocènes. — Ces phosphates ressemblent beaucoup à ceux de l'éocène en tant que nature et apparence du produit; mais leur mode de gisement diffère considérablement. Dans plusieurs localités, on trouve le hard rock *in situ*, les gisements sont nettement stratifiés, enfin le *soft phosphate* manque. Ces différences tiennent en grande partie à ce que la roche originaire elle-même, c'est-à-dire le calcaire phosphaté, se présente comme nous l'avons expliqué plus haut, sous deux aspects différents dans les deux terrains. Quant aux phénomènes qui ont amené la concentration des phosphates dans l'un et l'autre de ces terrains, ils sont exactement de même nature. Il n'y a de différence que dans l'intensité et la durée des actions chimiques qui a été moindre pour les phosphates miocènes que pour ceux de l'éocène.

La partie de la Floride qui renferme les gisements miocènes, commence au pied des escarpements qui représentent, dans le nord de l'État, les derniers termes de la formation de Lafayette, jusqu'à une distance indéterminée dans le sud. Cette formation est sujette à de nombreuses interruptions et les intercalations de pliocène

rendent difficile le tracé des contours-limite entre ces deux terrains.

Les lits de phosphate miocène se rencontrent principalement dans les savanes noyées. On les trouve à quelques pieds de profondeur recouverts seulement par des sables superficiels. L'épaisseur moyenne ne dépasse guère $1^m,50$; elle dépend de la puissance initiale du calcaire dont la dissolution a produit le phénomène des galets, épaisseur très variable aussi. Le gisement de phosphate parait reposer sur une formation d'argile.

L'absence du *soft phosphate* dans le miocène est digne de remarque ; c'est une preuve de la moindre intensité des phénomènes chimiques pendant cette période.

Land pebble. — Les rognons provenant des gisements de *land pebble* sont de dimensions assez variables, mais d'aspect et de composition chimique uniformes. Leur couleur originaire est blanche, mais après avoir été soumis à l'action prolongée des agents atmosphériques et de l'eau, ils prennent une couleur gris foncé ou noire. Leur surface est lisse, lustrée et est de densité supérieure à celle de l'intérieur des rognons. Ils sont formés soit par une matière terreuse contenant des débris fossiles, des grains de quartz, etc., soit d'une matière d'un jaune brun ressemblant à certaines variétés de *hard rock*. Ils sont, en général, de la grosseur d'une noix : teneur en acide phosphorique 32 p. 100. Vu leur faible dimension et leur régularité, ces matières se prêtent bien au chargement en vrac dans les navires par des moyens mécaniques et s'arriment bien. On n'a à redouter que le ripage. Aussi le fret des pebbles est-il toujours moins élevé que celui du *hard rock* qui fatigue les fonds et qui se charge mal, surtout en gros blocs.

River pebble. — Ce nom de « rognons de rivière » est

Digitized by Google

dû au mode de dépôt de ces phosphates. On les trouve dans le lit des rivières actuelles, non seulement dans leur cours normal, mais aussi dans les anciens lits parfois très larges que les cours d'eau se sont frayés dans le sable de la côte et même dans certains marais du haut cours de la Caloosahatchee River.

Sur les bords de la Peace River, cours d'eau qui a été le mieux étudié à ce point de vue, les rognons se présentent en véritables bancs, ou *bars*, tant dans le courant actuel que dans les anciens lits de ce cours d'eau. Ces rognons proviennent du lavage des marnes et argiles qui forment les berges et aussi des dépôts de *land-pebble*, qui se trouve au-dessus du lit de la rivière. Ils sont bleus, noirs ou bruns foncé à l'extérieur, jaunes ou brunâtres en dedans. Dimension de ces rognons 1 pouce (25 millimètres) et au delà.

Leur structure intérieure est en général assez homogène, les fossiles y sont assez rares. On trouve généralement ces rognons associés à des ossements et à des dents de grands animaux. Ceux provenant de la Caloosahatchee River sont typiques, car ils contiennent 50 p. 100 de leur poids de coquilles blanches phosphatisées, pliocènes et post-pliocènes ; ce curieux mélange n'existe que sur ce point spécial.

Les ossements mélangés aux rognons ont la même couleur extérieure que ces derniers. La structure intérieure de ces os a été admirablement conservée. Dans certaines rivières de la côte ouest, ils forment la majeure partie du phosphate exploitable.

Les nodules de Black Creek, rivière tributaire du Saint-John's, à environ 32 kilomètres au sud de Jacksonville, ressemblent beaucoup à ceux de Peace River ; ils sont seulement de couleur plus claire. Ceux de la rivière Withlacoochee sont pour la plupart formés par les débris du hard rock à travers lequel la rivière a frayé son

Digitized by Google

cours. Ils ne diffèrent de la roche mère que par la couleur superficielle foncée due à l'action de l'eau. De nombreux ossements de grands animaux s'y trouvent mélangés.

Les nodules de Peace River ont une teneur moyenne de 28,40 p. 100 d'acide phosphorique; ceux de Black Creek 20,61 p. 100.

L'exploitation se fait dans un assez grand nombre de localités, avec la drague à vapeur. Les bancs de la Peace River sont de beaucoup les plus importants de ce genre de gisement; ils sont surtout développés dans les remous, en aval des convexités du cours de la rivière. Il y a cependant des points où ces graviers occupent la totalité de la largeur du lit.

Origine du phosphate de la Floride.

La variété des gisements de la Floride devait forcément attirer l'attention des géologues sur les causes qui ont amené la formation de ces phosphates. Cette question a été longuement examinée dans le rapport adressé par M. Georges H. Eldridge au directeur du *Geological Survey* et comme ce travail présente, en outre d'une explication satisfaisante des faits constatés, des données intéressantes sur la décomposition des calcaires phosphatés par les agents chimiques, je vais donner un résumé de cette étude.

Théorie générale de la formation des gisements de phosphates. — Les facteurs essentiels de la formation des gisements de phosphates sont les suivants :

1° Une roche soit calcaire, soit marneuse, contenant le phosphate de chaux plus ou moins disséminé dans sa masse;

2° Un agent chimique susceptible de dissoudre *à la fois* le phosphate et le carbonate de chaux;

3° L'eau comme agent de transport.

Quant à l'origine même du phosphate dans les roches sédimentaires, on n'a pas de données précises sur cette question. L'examen des hypothèses mises en avant à ce sujet sort du cadre de ce travail, car elles se rattachent aux études de physique générale du globe.

Le pouvoir de dissolution de l'eau chargée d'acide carbonique sur le calcaire et sur les marnes est un phénomène bien connu. On ne se rend cependant pas compte en général de la puissance de ce pouvoir dans les conditions où il a pu et où il peut s'exercer encore dans les étages géologiques où les eaux superficielles circulent.

Examinons donc le phénomène de plus près. Voici d'abord le coefficient de dissolution de cet acide dans l'eau, à des pressions croissantes :

Tableau donnant la quantité d'acide carbonique que dissout une partie d'eau distillée à la température de zéro degré et à des pressions variant de zéro à 4 atmosphères (*).

PRESSION DE L'ACIDE CARBONIQUE EN CONTACT AVEC L'EAU		POIDS DE CO^2 DISSOUS dans 1 mètre cube d'eau
en millimètres d'Hg.	en atmosphères	
697,71	0,91	0k,9441
809,03	1,06	1,1619
1.289,41	1,69	1,8547
1.469,95	1,93	2,1623
2.002,06	2,63	2,9076
2.188,65	2,88	3,1764
2.369,02	3,10	3,4837
2.554,00	3,36	3,7152
2.738,33	3,69	4,0031
3.109,51	4,09	4,5006

On voit que ce coefficient est à peu de chose près proportionnel à la pression. On s'explique donc que dans la profondeur du sol et des mers, à des pressions infiniment supérieures à celles que nous pouvons repro-

(*) *Annales de chimie et de physique*, t. XXV, p. 346.

Digitized by Google

duire dans nos laboratoires, l'action dissolvante des eaux puisse avoir une intensité hors de proportion avec nos notions courantes sur la solubilité des roches dans les eaux superficielles.

En définitive, l'eau chargée d'acide carbonique sous la pression qu'elle acquiert dans les profondeurs de l'écorce terrestre est un véritable acide, assez énergique même pour attaquer les feldspaths; elle enlève à ceux-ci leur soude, leur potasse, leur magnésie, en mettant la silice en liberté. M. Rigaud, *dans un travail très nourri en aperçus nouveaux*, qui vient de paraitre (*), a fait ressortir très clairement le rôle puissant des eaux dissolvantes dans la profondeur du sol. Il n'a pas examiné, dans son étude, faite au point de vue particulier de la houille, l'application de ces principes à la formation des phosphates, mais les considérations qu'il a esquissées sont conformes à la théorie que j'expose en ce moment.

En tout état de cause, il est certain que la dissolution des calcaires est fonction des surfaces en contact. L'action sera évidemment d'autant plus active et plus rapide que les roches qui lui sont soumises seront plus perméables et plus poreuses. Or, les calcaires de la Floride *sont en majeure partie de nature essentiellement poreuse. On conçoit donc que les circonstances* les plus favorables à une désagrégation rapide et à un enrichissement puissant en acide phosphorique s'y soient trouvées réunies. Si on ajoute que, même encore à l'époque actuelle, les eaux superficielles en Floride sont plus fortement chargées d'acide carbonique que la moyenne, on comprendra que toutes les conditions requises pour la formation de gisements secondaires de phosphate riche aient pu se trouver rassemblées.

(*) F. Rigaud. La formation de la houille. *Revue scientifique*, 4e série, t. II, p. 394.

Travaux de Bischof. — D'après Bischof, la quantité d'acide carbonique contenue dans les eaux superficielles à la pression atmosphérique, dans les diverses parties du monde, est cinq fois plus forte que celle nécessaire pour tenir en dissolution la quantité de calcaire que renferment normalement ces mêmes eaux. Cette disparité devient probablement plus forte encore dans les eaux très chargées d'acide, comme celle de la Floride. Leur pouvoir dissolvant, même sans faire intervenir l'influence de la pression, est donc amplement suffisant non seulement pour enlever de grandes quantités de calcaire à l'état de bicarbonate soluble, mais encore pour dissoudre en même temps des quantités considérables de phosphate de chaux.

D'après le même auteur (*), la marne phosphatée est une des plus difficiles à dissoudre : 1 partie se dissout dans 6.828.000 parties d'eau. En ce qui concerne la solubilité du calcaire dans l'eau saturée d'acide carbonique, Bischof a opéré de la manière suivante : l'acide carbonique était produit par l'attaque du marbre, par l'acide sulfurique. Un flacon laveur séparait l'acide entraîné; on faisait ensuite arriver l'acide carbonique dans un flacon tenant la matière à dissoudre en suspension dans l'eau. Après vingt-quatre heures on décantait, filtrait, lavait le précipité restant qui était pesé après séchage et calcination. Voici les pertes de poids constatées :

Résultat des essais.

NATURE DE LA MATIÈRE TRAITÉE	PARTIES D'EAU pour dissoudre une partie de la matière essayée
Craie	1.000
La même après 1 heure de passage du gaz	990
— 2 heures	1.009
— 3 heures	989
Spath calcaire	3.149

(*) Bischof. *Lehrbuch*, p. 234 et suiv.

Digitized by Google

Examinons maintenant l'action de l'eau chargée d'acide carbonique sur les phosphates. Je traiterai plus spécialement dans le chapitre III cette même action sur les phosphates industriels, notamment sur le phosphate des scories basiques. Je me bornerai, dans l'exposé que je fais en ce moment, à étudier la solubilité des phosphates naturels.

Solubilité du phosphate de chaux dans l'eau chargée d'acide carbonique. — Bischof, dans son *Dictionnaire de Chimie géologique*, donne la table suivante pour la solubilité du phosphate de chaux dans l'eau saturée d'acide carbonique à la pression et à la température ordinaires :

NATURE DU PHOSPHATE	NOMBRE DE PARTIES d'eau nécessaires pour dissoudre 1 partie de phosphate
Apatite	393.000
Apatite vivement agitée dans le flacon	96.570
Phosphate neutre artificiel, récemment précipité	1.503
Même sel après dessiccation complète dans l'air	2.042
Phosphate basique artificiel, récemment précipité	1.102 (1)
Même sel après dessiccation complète dans l'air	5.432
Même sel après calcination	13.115
Os calcinés exposés à l'air pendant plusieurs années et ayant déjà absorbé de l'acide carbonique	2.823 (2)
Os de *bœuf frais (raclures)*	4.610 (3)
Os fossiles, enterrés depuis au moins trente ans	5.400 (4)

(1) 1.333 parties d'après Lassaigne (*Comptes rendus*, t. XXIII, p. 1019).
(2) 1.509 — Liebig (*Ann. der Chem. und Pharm.*, vol. LXI, p. 128).
(3) 6.024 — Lassaigne. *Journal de chimie médicale*, t. III, p. 11, et t. IV, p. 539.
(4) 3.330 — — Sur des os enterrés en terre depuis 20 ans.

Cette table de Bischof montre que la solubilité du phosphate de chaux varie d'une façon remarquable suivant son origine.

A propos de la solubilité des os, Bischof ajoute : « La quantité d'acide carbonique nécessaire pour dis- « soudre les os n'est pas considérable, et dans les con-

« ditions ordinaires de la putréfaction, où l'acide carbo-
« nique peut se dégager en abondance et d'une manière
« continue, cette dissolution peut s'opérer rapidement. »

Il est important de remarquer que le phosphate de chaux basique, qui demande après dessiccation à l'air 5.432 parties d'eau pour se dissoudre, se dissout dans 3.150 parties de la même eau, contenant 1/12 de son poids de chlorure de sodium. La présence du chlorure d'ammonium augmente encore plus cette solubilité. Or comme la présence du chlorure de sodium dans les eaux superficielles est des plus fréquentes, l'action dissolvante de ces dernières sur le phosphate de chaux est proportionnellement plus grande que celle de l'eau pure.

J'ai fait remarquer à ce sujet, à propos des gisements de la Tunisie, que les argiles noires à silex, qui servent de substratum immédiat aux gisements de phosphates, sont fortement imprégnées de chlorure de sodium.

Théorie de M. Shaler. — Résumant ces données physiques et chimiques, relatives à la formation des phosphates, on peut dire avec M. Shaler, auteur d'une étude d'ensemble sur ce sujet, que les conditions générales dans lesquelles se produisent les gisements secondaires de phosphates de chaux sont les suivantes.

Il est nécessaire, en premier lieu, qu'il existe des bancs épais de calcaire d'une teneur en phosphate assez élevée pour que leur destruction laisse un volume appréciable de résidus. Ces bancs ne doivent pas être trop denses, car il est important qu'ils laissent pénétrer les eaux superficielles en profondeur pour qu'elles y accomplissent leur action dissolvante. La quantité des eaux pluviales tombant sur la zone considérée, doit être importante, de manière à fournir un gros volume d'eaux dissolvantes et incidemment, en favorisant la vie végétale, à maintenir sur le sol un riche dépôt de matières orga-

Digitized by Google

niques en voie de décomposition qui augmentent le pouvoir dissolvant des eaux de pluie. La réunion de ces conditions se présente rarement, mais on les trouve en concomitance dans le sud des États-Unis où les marnes calcaires de l'époque tertiaire et crétacée ont, au cours des périodes géologiques récentes et notamment dans les parties de ces périodes qui ont coïncidé avec des soulèvements, été exposées à des actions intenses de lixiviation.

Les conditions les plus favorables pour l'accumulation de dépôts exploitables de phosphate de chaux sous forme de débris résiduaires, paraissent se produire lorsque les marnes phosphatées sont d'une nature tendre; dans ces conditions les lits superposés n'ayant pas une solidité suffisante pour résister à l'action dissolvante des eaux qui circulent à travers les innombrables fentes que présentent les roches stratifiées, il en résulte que ce lessivage intime et prolongé de la masse entière enlève la presque totalité du carbonate de chaux et laisse le phosphate sous la forme de morceaux plus ou moins volumineux existant primitivement dans la masse du terrain.

Ces fragments de matière concentrée sembleraient donc, dans cette manière d'envisager les choses, devoir leur forme primitive à certaines portions de matières phosphatées préexistantes dans la roche. Ce sont généralement des débris de fossiles ou d'ossements, parfois un cristal insoluble de quartz, etc. A la surface de ces fragments, il est venu se déposer une certaine quantité du dépôt phosphaté et concrétionné, provenant de la dissolution d'une partie du phosphate préexistant. On constate, en outre, que les nodules phosphatés ont en général une surface lisse, parfois même polie et d'aspect rappelant la porcelaine; ceci s'explique par les nombreux frottements mutuels auxquels ils ont dû né-

cessairement être soumis au cours de la concentration dont ils ont été le centre. Il est évident, en effet, que le processus de concentration tel qu'il vient d'être indiqué, ne peut avoir eu lieu sans le concours de puissants mouvements internes. Appliquant ces données générales à la Floride, M. Shaler estime que les nodules, après leur formation, ont subi des remaniements qui les ont amenés depuis leur point de formation jusque dans les vallées. C'est ce qui fait que sur les lignes de partage des eaux séparant le bassin de l'Alafia River des bassins voisins, les nodules de phosphate peuvent ne former qu'une mince couche ou même faire complètement défaut, tandis que dans les vallées les accumulations de ces nodules peuvent atteindre 10 mètres d'épaisseur et plus. Cet enrichissement mécanique a été probablement produit en partie par les eaux des rivières elles-mêmes, mais la cause principale a été due à l'action de la mer pendant l'époque ou les époques où cette partie de la péninsule a été immergée au-dessous du niveau de l'Océan. L'action de la mer dans ces concentrations de phosphates est indiquée par la présence fréquente de dents de squales et autres restes d'animaux marins, qu'on trouve dans un état de préservation tel qu'on voit clairement qu'ils ont été déposés après que les nodules roulés ont eu pris leur forme actuelle. Ces ossements paraissent en tout cas former le terme le plus moderne des dépôts phosphatés de la Floride et ils ont été soumis à des frottements bien moindres que les nodules.

Exploitation des phosphates de la Floride (*).

1° *Hard Rock.* — L'année 1893 a été marquée dans les exploitations de Hard rock par des améliorations

(*) Voir, pour plus amples détails, les deux volumes de R. P. Rothwell, *The Mineral Industry*. Années 1892 et 1893.

dans les procédés d'abatage et de broyage; l'emploi de machines pour ces opérations s'est généralisé; on a fait, en un mot, de grands efforts pour abaisser le prix de revient. La production de *Hard rock* a été de 245.851 tonnes, soit 43.852 de plus qu'en 1892. On ne s'occupait, dans les débuts, que de l'extraction des galets et blocs de phosphate (Boulders); mais, au fur et à mesure de l'épuisement de ces derniers, on s'est préoccupé des morceaux de dimensions moindres et dont la teneur était égale à celle des gros blocs. Toutes les mines bien organisées tirent maintenant parti de ces matières par un lavage soigné.

Travail à l'excavateur. — Le Hard rock extrait soit par des excavateurs, soit à la main, est passé aux cylindres broyeurs, lavé dans des cribles à cuve, déchargé dans un trommel débourbeur où il est lavé à l'eau claire; enfin séché, de préférence dans des cylindres tournants, et versé dans les trémies de chargement et de là sur les wagons.

Lavage. — Ces améliorations ont permis de tirer parti d'exploitations considérées comme épuisées, le lavage a diminué la teneur en fer et en alumine, enfin le broyage donne des produits qui, une fois lavés, sont plus faciles à charger en wagons et à bord que des blocs, d'où économie notable dans les faux frais.

Voici des analyses qui donnent une idée de la composition actuelle des phosphates produits en Floride :

Digitized by Google

Analyse de divers hard rock phosphates de Floride produits en 1893.

MATIÈRES ANALYSÉES	ANALYSES DE				
	Shepard (moyenne de 1.200 échantill.)	Livraisons en Angleterre	Phosphate de Hernando Country	O. Grothe (8 charg.)	District de Dunellon
Acide phosphorique	37,36 %	36,12 %	35,11 %	36,60 %	36,63 %
Phosphate de chaux	82,10	78,75	76,50	79,80	79,97
Carbonate de chaux	1,27	»	1,28	»	»
Oxyde de fer	2,38	2,81	0,65	2,35	0,74
Alumine		»	0,49	»	1,60
Magnésie	»	»	0,26	»	»
Acide carbonique	1,88	»	0,54	»	»
Humidité	1,70	2,01	1,39	0,58	»
Matières organiques	»			»	0,63
Silice	7,67	»	8,49	»	3,39

2° *Soft phosphate.* — On commence à employer cette qualité friable directement comme engrais après une simple mouture fine. Teneur moyenne actuelle de ce produit : 64 p. 100 de tribasique ; la teneur en fer est parfois élevée. Voici la composition d'un échantillon choisi (Laboratoire Peatt) :

Analyse d'un soft phosphate.

Eau à 100°	0,20
Eau combinée	1,75
Silice	26,90
Phosphate tribasique	64,38
Fer et alumine	2,75

3° *River pebble.* — Production de 1893 : 99.325 tonnes. Ce sont toujours les exploitations de Peace River qui tiennent la tête. La production totale de ce district atteignait, au 1er janvier 1894, le chiffre considérable de 342.666 tonnes expédiées. La teneur de ces nodules de rivière est d'une constance remarquable. Elle ne varie guère hors des limites de 60 à 62 p. 100 de tribasique et de 2 à 3 p. 100 de peroxyde de fer et alumine ; aussi les

Digitized by Google

recherche-t-on pour la fabrication des superphosphates; ces nodules s'embarquent à Port-Charlotte.

La rivière Alafia, qui se jette dans la baie de Tampa, (voir la carte), est peu importante en tant que cours d'eau, mais est le siège d'une importante exploitation de nodules.

Les autres rivières Caloosahatchee, Miakka, Manatee, Black River, etc., donnent aussi des nodules, mais moins riches.

Emploi des dragues. — Le procédé d'extraction en rivière est original et mérite d'être signalé.

On monte, sur des pontons dragueurs, des pompes centrifuges suceuses de 8 à 12 pouces ($0^m,20$ à $0^m,30$) munies de tubes aspirateurs, qui montent pêle-mêle le sable et les nodules. La pompe décharge le tout sur un trommel abondamment arrosé, où le sable se sépare des nodules, qui tombent directement dans les chalands accostés à la drague. Il ne reste plus qu'à les sécher et à les mettre en trémie en attendant l'embarquement.

Il est évident qu'une exploitation de ce genre est essentiellement temporaire. Aussi a-t-on jeté les yeux sur les dépôts de nodules beaucoup plus vastes, qui s'étendent dans tout le sud de la Floride sous des savanes marécageuses couvertes d'une épaisse végétation.

Dragues à succion. — On utilise encore les dragues à succion pour cette exploitation sous l'eau. A cet effet on commence par couper ou brûler les arbres, puis on aspire avec les pompes et on rejette derrière soi la couche de sable stérile, dont l'épaisseur ne dépasse pas 2 à 3 mètres, qui surmonte la couche à nodules, sans toucher à cette dernière. On dégage en même temps les chevelures de racines qui viennent surnager. Enfin on aspire la couche à nodules qui est traitée comme un banc ordinaire de rivière. Il paraît démontré que ce procédé est économique et, comme il s'applique à des éten-

dues considérables, il est probable que la production de « river pebble » va se trouver de nouveau assurée pour une période plus prolongée.

4° *Land pebble.* — La production de 1893 a été de 61.281 tonnes. C'est une source de phosphate qui prend un développement rapide, car l'extraction n'avait été en 1892 que de 17.795 tonnes et en 1891, année de début, de 2.925 tonnes seulement. Au total, il a été produit jusqu'au 1er janvier 1894 une quantité de 82.001 tonnes de Land pebble.

Les nodules se trouvent dans une gangue argileuse. On ne considère comme exploitable que les argiles qui rendent 25 p. 100 de leur volume, en nodules. Cette richesse correspond à un rendement de 420 à 600 kilogrammes de nodules lavés, séchés, prêts à livrer par mètre cube en place.

On n'exploite pas lorsque l'épaisseur des terrains stériles à enlever pour découvrir la couche dépasse 3 mètres. L'épaisseur moyenne de l'argile à nodules, dans les régions considérées comme pouvant donner lieu à une exploitation suffisamment rémunératrice, est d'environ 3 mètres. Un hectare de cette formation rend environ 6.000 tonnes de nodules marchands.

Les « Land pebble » tiennent en moyenne 65 à 70 p. 100 de tribasique et de 2 à 4 p. 100 de Fe^2O^3 et Al^2O^3. C'est l'alumine qui prédomine dans cette qualité, surtout lorsque le lavage n'a pas été parfait.

L'exploitation du Land pebble s'opère par deux méthodes qui ont chacune leurs partisans.

Exploitation par dragues. — 1° Par dragues ou excavateurs et lavage à la cuve de l'argile à nodules. Ce procédé réussit bien lorsque les morts-terrains dépassent 2 mètres de puissance et que le rendement en nodules

Digitized by Google

n'atteint pas 500 kilogrammes au mètre cube, en un mot dans les parties moyennement riches de la couche à Land pebble.

Exploitation hydraulique. — 2° Par exploitation hydraulique : comme le pays ne se prête pas, vu son horizontalité presque absolue, à l'adduction d'eau sous pression, au moyen de canaux, *flumes* ou siphons pour la construction desquels les ingénieurs américains, qui y sont d'ailleurs passés maîtres, ont une prédilection marquée, on pompe l'eau au moyen de machines à vapeur, de manière à la lancer avec une pression de 15 à 20 kilogrammes par centimètre carré (200 à 300 lbs par pouce carré). On n'enlève pas la couche stérile de la surface, on la mélange avec l'argile à nodules et on absorbe le tout dans des suceuses qui envoient le mélange dans des trommels débourbeurs.

De là, les nodules, préalablement rincés à l'eau claire, sont envoyés au séchoir et aux trémies de chargement.

Ce procédé paraît surtout convenable pour les parties où l'argile, par sa nature visqueuse, adhérant fortement aux nodules, nécessite une action énergique de débourbage.

Le Land pebble est très recherché pour la fabrication du superphosphate.

Lorsqu'il a été soumis à un lavage soigné, sa teneur en fer et alumine est très faible et sa principale impureté est la silice, qui n'absorbe pas d'acide. Voici la composition moyenne d'un lot important de ce genre de phosphate envoyé en Angleterre (Analyse de MM. Vœlcker) :

Analyse d'un Land pebble.

Humidité	0,45	p. 100.
Matière organique et eau combinée.	1,55	
Acide phosphorique	33,07	=72,19 p. 100 de tricalcique.
Chaux	45,82	
Oxyde de fer	1,19	
Alumine	1,63	
Magnésie, etc.	5,37	
Acide carbonique	1,64	
Silice et insoluble	9,28	
	100,00	

Embarquements. — Les principaux ports d'embarquement des phosphates de la Floride sont, par ordre d'importance : Fernandina, Tampa Bay et Punta Gorda.

Il est intéressant de dire quelques mots des moyens dont disposent ces divers ports pour l'embarquement du tonnage annuel considérable qui est vendu pour l'exportation.

Pour bien apprécier cette question, il convient de rappeler que l'exploitation de la Floride date de cinq ans à peine, que les accroissements de production ont été rapides et importants d'une année à l'autre, que les conditions locales, présence d'une barre à franchir à Fernandina et à Tampa Bay, nécessité de charger en rade à Punta Gorda, étaient plutôt défavorables ; enfin que ces installations multiples se sont faites au cours d'une baisse considérable et continue du prix de vente des produits exportés.

Examinons d'abord le mouvement total d'exportation des phosphates depuis le début de leur extraction en Floride :

Digitized by Google

Exportations des phosphates de la Floride, de 1888 à 1893
(en tonnes de 1.015 kilogr.)

ANNÉE	NATURE DES PHOSPHATES				
	Hard Rock	Land pebble	River pebble	Solf phosph.	Total
1888	»	»	813	»	813
1889	25	»	3.755	»	3.780
1890	17.345	»	33.336	1.700	52.381
1891	88 312	2 925	79.295	10.784	181.316
1892	202 019	17.795	126.172	8.341	354.327
1893	245.851	61.281	110.325	7.000	424.457

Répartition de ces phosphates dans la consommation. — Les 424.457 tonnes exportées en 1893 se sont réparties comme suit :

PORT d'embarquement	HARD ROCK			PEBBLE			Total général
	à l'étranger	aux États-Unis	Total	à l'étranger	aux États-Unis	Total	
Fernandina	125.214	680	125 894	»	»	»	125.894
Tampa	48.900	1.026	49.926	27.412	35.594	63.006	112.932
Punta Gorda	»	»	»	66.629	21.810	88.439	88.439
Brunswick	34 386	»	34.386	»	»	»	34 386
Savannah	27 345	»	27.345	»	»	»	27.345
Par chemins de fer	»	8 300	8.300	»	14.500	14 500	22.800
Employé en Floride	»	»	»	»	»	»	8 000
Divers	»	»	»	»	»	»	4.661
Totaux	235.845	10.006	245.851	94.041	71.904	165.945	424.457

Voyons maintenant comment se sont réparties ces quantités, comme lieux d'expédition, pendant les années 1892 et 1893 :

PORTS D'EMBARQUEMENT	ANNÉES	
	1892	1893
Fernandina	124.900	125.894
Tampa	50.930	112.932
Punta Gorda	64 502	88.439
Brunswick	20.000	34.386
Savannah	»	27.345
Par rail	31.000	22.800
Employé sur place	»	8.000
Divers	»	4.661
Totaux	354.327	424.457

Création rapide des ports d'exportation. — Fernandina, ville située au nord de Jacksonville, n'avait, en 1890, que 3.207 habitants, mais sa situation faisant face à l'Atlantique, évitant ainsi aux navires le détour long et dangereux au travers des passes ou « Keys » formées par l'immense prolongation des coraux côtiers au sud de la Floride, lui assurait un avantage incontestable.

Le port de Jacksonville, principale ville de la Floride par son chiffre de population (35.000 habitants), a une barre qui le rend impraticable pour les navires d'une certaine portée. Celui de Fernandina, d'une sûreté complète une fois la barre franchie, était tout désigné pour servir de point de départ des phosphates. Les navires tirant $5^{m},80$ (19 pieds) franchissent aisément la barre à marée haute.

Les lignes de chemins de fer venant des exploitations aboutissent directement à de vastes trémies permettant, lorsqu'il n'y a pas de navires en charge, d'emmagasiner les phosphates sans qu'il soit nécessaire de les remanier pour les mettre à bord. Lorsque, au contraire, le navire étant dans le port, les phosphates doivent passer directement des wagons à bord, ce travail s'exécute au moyen d'élévateurs-transporteurs. C'est surtout depuis que le lavage de tous les phosphates, y compris le Hard rock, a permis de présenter le phosphate à l'embarquement sous forme de morceaux de petites dimensions, de grosseur à peu près uniforme et peu poussiéreux, que les moyens mécaniques rendent les meilleurs services.

On peut avec ces installations charger simultanément plusieurs navires sur le pied de 500 tonnes par jour.

A Tampa, sur la côte ouest, la barre a 21 pieds d'eau à marée haute ($6^{m},40$). On est en train d'y exécuter des installations analogues à celles de Fernandina. C'est un port sur lequel convergent plusieurs lignes de chemins de fer. En 1890, il comptait 3.500 habitants et son commerce

Digitized by Google

consistait en quelques exportations de bétail sur Cuba. En 1892, il a exporté 50.000 tonnes de phosphate; en 1893, 113.000 tonnes.

A Punta Gorda, il s'agit d'embarquer uniquement des nodules de Peace River. On opère en rade au moyen d'allèges, chargées directement par le basculage des wagons à quai. Ces allèges, remorquées ensuite jusqu'à Boca Grande où se trouve le mouillage bien abrité et en eau profonde, à l'entrée de Port Charlotte, sont déchargées par des excavateurs qui mettent les nodules à bord.

En 1892, il a été embarqué de la sorte 64.000 tonnes; en 1893, 88.000.

Brunswick, Savannah (en Géorgie) s'organisent pour rivaliser avec Fernandina, au point de vue des facilités à offrir au commerce d'exportation des phosphates.

En juillet 1894, le port de Brunswick a exporté 7.930 tonnes.

Travaux publics aux États-Unis. — On sait que ces résultats s'obtiennent par des procédés fort simples, mais qui ne cadrent pas avec notre organisation des travaux publics en France. Les ports créés par les races anglo-saxonnes, tant dans les pays neufs que chez elles, sont des affaires privées dont l'État et l'Administration ne se mêlent que pour sauvegarder les intérêts généraux et militaires, en évitant à ce point de vue spécial toute vexation inutile, bien que la défense des côtes soit pour cette race plus vitale encore que pour nous. On cherche à faire des installations dont le luxe soit banni, mais aussi perfectionnées que possible, même au prix de dépenses élevées, et les capitaux ne font pas défaut, parce que chacun est familiarisé avec les principes des échanges maritimes. On sait que toute heure gagnée dans le chargement d'un navire représente une économie considérable sur le fret. Un port où l'on charge vite et commo-

dement est recherché par les armateurs, les frets d'entrée et de sortie s'en ressentent favorablement, contribuant ainsi au développement des échanges dont tout le monde profite. En attirant beaucoup de navires, les droits de port suffisent pour payer l'intérêt et l'amortissement des capitaux engagés. Les bonis sont employés en améliorations, en progrès se traduisant par des économies de temps et une fréquentation plus active du port par un plus grand nombre de navires, et ainsi de suite. C'est là tout le secret de ces développements commerciaux presque instantanés, dont nous sommes témoins.

On éprouve un sincère regret quand on compare les résultats produits par ces méthodes et ceux que nous obtenons avec les nôtres.

Prix de revient. — Les progrès accomplis dans l'exploitation des diverses natures de phosphates de la Floride, sous l'empire des difficultés causées par la baisse des prix de vente, ont eu pour résultat une amélioration sérieuse des prix de revient.

En 1892, ces prix s'établissaient comme suit :

1° *Hard Rock.* — Le prix de revient indiqué est le prix moyen des trois principales Compagnies exploitant exclusivement le Hard rock. Ce prix comprend, sous la rubrique : « Prix de revient sur wagon à la mine » :

Tous les frais de mine proprement dits ;

Le lavage et le séchage ;

La mise en wagon ;

La surveillance ;

Le salaire des chimistes.

Ne sont pas compris dans ce chiffre :

Les frais généraux de direction locale et d'administration ;

L'intérêt et l'amortissement du capital engagé.

Voici quel était ce prix pour 1 tonne de 1.015 kilo-

Digitized by Google

grammes, Hard rock phosphate, à 75 p. 100, rendue f. o. b. ports d'Europe :

Frais.

Prix de revient sur wagon à la mine (y compris la redevance au propriétaire du sol)	4$,23
Transport et embarquement	2 ,50
Fret	4 ,00
Escompte, déchet de route, humidité, pesage et échantillonnage, commission, droit de port, etc. 7 p. 100 du prix de vente	0 ,84
Total	11$,57

Recette.

1 tonne à 75 p. 100, à 16 cents par unité	12 ,00
Différence en plus	0$,43
Soit en francs	2f,27

ce qui ne couvre pas les frais non comptés dans les prix de revient.

2° *Pebble.* — La situation n'était pas meilleure pour les nodules. Voici le prix de revient des exploitations de Peace River. — Même répartition que ci-dessus pour les frais généraux d'administration, l'amortissement et l'intérêt du capital engagé :

Prix de revient de 1 tonne de 1.015 kilogrammes, nodules, à 65 p. 100, rendue f. o. b. ports d'Europe :

Frais.

Prix de revient à la mine sur wagon ou allège (y compris la redevance à l'État)	2$,80
Transport et embarquement	0 ,70
Fret	3 ,50
Escompte, comme ci-dessus, 7 p. 100	0 ,54
Total	7$,54

Recette.

1 tonne à 65 p. 100, à 12 cents par unité	7 ,80
Différence en plus	0$,26
Soit en francs	1f,34

ce qui laisse l'exploitation en perte en tenant compte des frais non estimés, ou en tout cas sans rémunération ni amortissement du capital engagé.

La situation paraît s'être notablement améliorée en 1893 bien que les prix n'aient pas progressé.

De 1890 à 1892, les exploitations débutantes étaient très nombreuses et manquaient généralement des capitaux nécessaires pour opérer économiquement. En voici la liste pour 1892 ; on remarquera le nombre élevé des petits exploitants :

Noms et productions des principales compagnies exploitantes en Floride, en 1892.

NOMS des COMPAGNIES	NATURE des phosphates exploités (*)	TONNAGE annuel	NOMS des COMPAGNIES	NATURE des phosphates exploités (*)	TONNAGE annuel
Ocala Blue River Cy.	H. R.	2 100	A. D. Wright.	»	1.900
Osceola Cy.	»	1.987	Barlow Ph. Cy.	P.	3.428
Clark Ladmann Cy	»	8.782	Brook et Bakermine.	H. R.	1.760
Dunnellon Phosphate Cy	»	27.723	P. R. et Royal Phosphate Cy.	H. R.	2.125
Florida Phosphate Cy	H. R.	10.238	Peace River Ph. Cy.	P.	25.821
Id. id.	P.	2.053	Jacksonville et P. R. Cy.	H. R.	960
Illinois Ph. Cy.	»	10 038	Id. id.	P.	888
Marion Ph. Cy.	»	5.850	Virginia et Florida Cy.	»	980
B. Arentz et Co.	»	14.926	United States Ph. Cy.	»	978
Empire State Ph. Cy.	»	7.388	Perée Ph. Cy.	»	653
Carney Ph Cy.	»	510	Bone Valley Cy.	»	3.950
Early Bird Ph Cy	»	5.950	South Chemical Cy	»	587
Eagle Ph. Cy.	»	1.034	Peruvian Ph. Cy.	H. R.	306
Eagle and Eureka Cy.	»	2.007	Land Pebble Cy	P.	1.408
Pebble Ph. Cy.	»	4.731	National P. R. Cy	»	2.408
Ce des phosphates de France.	»	14.332	High Spring Ph. Cy.	H. R.	1.932
Thos-D. et F. Cy.	»	590	Dutton et Co.	»	9.275
Albion Ph. Cy	»	4.202	Charlotte harbor Ph. Cy.	P.	36.167
Standard Ph. Cy.	»	3.604	Gulf Ph. Cy.	»	2 450
Netherland's Cy	»	10.578	Divers.	»	24.762
S. D. Wright et Co.	»	1.621			

(*) H. Hard rock. P. Pebble.

D'autre part, une publication récente (*) donne sur l'exploitation par dragues des nodules, tant de rivière

(*) Report of the Commission of Labor for 1893 (Phosphate mines of Florida).

que de Land pebble, des chiffres notablement inférieurs.

Une exploitation de Land pebble produisant 40 à 50 tonnes par journée de dix heures dépense en moyenne $ 50, à savoir 28 pour main-d'œuvre, 20 pour combustible (bois) et 2 pour huile et réparations, soit $ 1 par tonne pour les frais de production sur le carreau de la mine.

Une exploitation de River pebble produisant 75 à 80 tonnes par 10 heures, dépense $ 56, à savoir : 34 pour main-d'œuvre, 20 pour bois et 2 pour huile et réparations, soit 70 à 75 cents par tonne.

Une mine de nodules dans l'argile, exploitée à l'excavateur, coûte, pour une production journalière de 30 tonnes, environ $ 34, soit 1$,13 par tonne. On voit que les divers prix de revient diffèrent peu, quelle que soit l'origine des phosphates, mais ce ne sont évidemment là que des moyennes.

On a obtenu aussi des abaissements dans les tarifs de transport, quand il a été clairement démontré aux Compagnies de chemins de fer intéressées, qu'ils étaient indispensables pour éviter la suspension des travaux.

Il résulte de cet ensemble de faits que, sans être dans une situation nettement prospère, les exploitations de Floride peuvent, grâce aux progrès obtenus et à l'abaissement des prix de transport, réaliser, aux cours actuels, un certain bénéfice sur leur prix de revient et attendre des temps plus prospères.

Redevance à l'État. — Les phosphates exploités sur les terrains domaniaux, notamment dans les lits des rivières navigables de la Floride, sont soumis au payement d'une redevance variant avec leur teneur et dont le montant, le mode de payement, la réglementation en un mot, sont déterminés par les termes mêmes d'un « act » de la législature de l'État de la Floride, approuvé par

Digitized by Google

le Gouverneur de cet État, le 9 juin 1891. Voici les dispositions de cet acte :

Acte du 11 juin 1891.

Acte établissant un Comité des phosphates et un inspecteur des phosphates dans l'État de Floride, définissant leurs obligations et leurs pouvoirs; établissant les conditions dans lesquelles sera concédé le droit d'exploiter les phosphates dans le lit des rivières navigables de la Floride et interdisant les exploitations non autorisées.

SECTION 1.

Bureau ou Comité des phosphates de l'État de Floride (Board of phosphates). — Le Gouverneur, le Contrôleur et l'Avocat Général de l'État composent le Comité des phosphates.

Ce Comité a dans ses attributions le contrôle et la surveillance, dans l'intérêt de l'État, des opérations relatives aux phosphates qui se trouvent dans le lit des rivières navigables de l'État, quels que soient la nature et le mode d'exploitation de ces phosphates.

Pouvoirs et obligations du Comité. — Le bureau est autorisé à passer, au nom de l'État, des contrats avec toutes les personnes désireuses de se prévaloir des clauses du présent Acte, et de prendre toutes mesures convenables pour recouvrer toutes taxes ou redevances pouvant revenir à l'État du fait de l'exploitation des phosphates se trouvant dans les rivières navigables.

SECTION 2.

Concession du droit d'exploitation. — L'État de la Floride concède le droit à toute personne ou société d'exploiter, draguer ou retirer des lits des rivières navigables de l'État, tous phosphates ou matières phosphatées qui s'y pourrait rencontrer, aux conditions suivantes :

Il sera payé à l'État une somme de 50 cents par tonne de phosphate titrant 50 p. 100 (de phosphate tribasique de chaux) et au-dessous; 75 cents par tonne pour des teneurs comprises entre 50 et 60 p. 100; et 1 dollar par tonne au-dessus de 60 p. 100.

Règlement trimestriel. — Il sera dressé un état trimestriel des sommes revenant de ce chef à l'État, lesquelles sommes devront être versées par les intéressés au Trésorier de l'État.

Garantie. — Nul ne peut être autorisé à exploiter le phosphate de rivière sans avoir au préalable souscrit au Comité des phosphates une obligation, garantie par une caution valable, acceptée par ledit Comité et dont le montant sera établi par lui.

SECTION 3.

Délivrance des autorisations d'exploiter. — Le Comité des phosphates est autorisé à passer des contrats donnant le droit exclusif d'exploiter les

Digitized by Google

phosphates de rivière dans certaines limites bien déterminées et pour une période n'excédant pas cinq années.

Conditions à remplir. — En délivrant les autorisations, le Comité exigera que les personnes (ou compagnies) commencent à exploiter dans les six mois qui suivront la délivrance de l'autorisation.

L'exploitation devra continuer pendant toute la durée de la permission, sauf en cas d'exhaustion.

Exploitants riverains. — Le Comité donnera la préférence, pour la cession du droit d'exploiter, aux propriétaires riverains ou aux personnes qui auraient, de bonne foi, commencé à exploiter ou se préparaient à exploiter avant l'époque du vote de l'Acte, mais ces personnes, tant riverains qu'exploitants à leurs débuts, devront, pour régulariser leur situation, adresser leur demande et donner la garantie ci-dessus prévue, dans les soixante jours qui suivront la date à laquelle il leur sera notifié par le Comité qu'une demande de permission d'exploiter les mêmes parties de rivière a été adressée, de bonne foi, audit Comité.

Chaque autorisation ne pourra pas couvrir une longueur de rivière dépassant 10 milles. . . . . . .

Section 4.

Inspection. — Le Comité est autorisé à appointer un inspecteur des phosphates, dont le traitement ne devra pas dépasser 1.500 dollars par an, lequel, sous la direction du Comité, visitera les travaux et installations des permissionnaires, analysera ou fera analyser les produits exploités, prendra connaissance des livres et de la comptabilité des intéressés, le tout dans l'interêt de l'État et du payement des redevances dues ou pouvant être dues aux termes du présent acte. Il opérera dans ses fonctions comme agent d'exécution du Comité des phosphates.

Section 5.

Exploitations non autorisées. Pénalités. — Toute exploitation de phosphate de rivière faite sans être préalablement autorisée, conformément aux termes du présent Acte, sera punie d'une amende ne dépassant pas 1.000 dollars ou d'un emprisonnement ne dépassant pas douze mois, ou par les deux peines cumulées. Exception est faite en faveur des personnes exploitant de bonne foi sur un « claim » ou propriété privée, situé sur lesdits gisements de phosphate de rivière.

Section 6.

Procédure. — Le Comité des phosphates est autorisé à intenter toutes actions judiciaires, au nom de l'État, pour protéger ses droits à intérêts et pour faire rentrer les redevances pouvant lui être dues du chef de l'exploitation des phosphates de rivière. Il est autorisé à cet effet à solliciter tous conseils légaux et à les payer au taux raisonnable des honoraires d'avocat.

Payements des honoraires, salaires et frais. — Les frais, ainsi que les appointements de l'inspecteur, et toutes les dépenses que pourra occasionner

la mise en vigueur du présent Acte, seront prélevés sur les fonds provenant du payement des redevances des phosphates de rivière extraits.

SECTION 7.

Sont abrogées toutes dispositions qui ne sont pas conformes au présent Acte.

SECTION 8.

Le présent Acte entrera en vigueur aussitôt après son approbation par le Gouverneur.

Résumé. — En résumé, la production des phosphates de chaux aux États-Unis a été pendant l'année 1893, de :

Caroline du Sud	556.883
Floride	424.457
Caroline du Nord	2,000
Total général	983.340

Elle avait été de 904.710 tonnes en 1892, soit une augmentation d'une année à l'autre de 78.630 tonnes ou 8,73 p. 100, malgré le désastre causé par le cyclone de la Caroline du Sud.

Indépendamment de cette production, dont plus de la moitié est consommée aux États-Unis, ceux-ci importent encore une certaine quantité de phosphates. D'après le tableau des importations, publié par l'Administration des Douanes des États-Unis, les quantités de phosphates importées (on ne distingue pas entre les phosphates naturels et les superphosphates), seraient les suivantes :

Importation des phosphates aux États-Unis, de 1883 à 1893.

ANNÉES	TONNES	ANNÉES	TONNES	ANNÉES	TONNES
1883	45.830	1887	21.197	1891	28.813
1884	15.471	1888	34.337	1892	19.610
1885	37.756	1889	34.692	1893	21.727
1886	30.837	1890	31.298		

Digitized by Google

Phosphates du Tennessee.

On a signalé, dès 1892, la présence, dans le sud de la région centrale du Tennessee, d'un niveau phosphaté très étendu, reconnu principalement dans les comtés de Lewis, Hickman et Wayne; c'est à M. Childs, de Massachusetts, que cette découverte est due. Le gisement se trouve au-dessous du schiste dévonien de Chattanooga : on y a reconnu le phosphate sous deux formes différentes : à la partie supérieure, c'est-à-dire *immédiatement au-dessous des schistes gris bleu* de Harpeth, on trouve des nodules de phosphate, ensuite vient un banc des schistes noirs dits de Chattanooga, et enfin une couche régulière d'environ 1 mètre de puissance, de phosphate en roche reposant directement sur un calcaire qui termine la formation.

Les échantillons de ce phosphate en roche provenant des meilleures parties reconnues ont donné les résultats moyens suivants :

Acide phosphorique	26,74	à	31,94
Oxyde de fer	2,32		6,92
Matières insolubles	6,40		13,90
Alumine	2,70		7,06
Chaux	29,60		41,30
Soufre	0,00		4,00
Acide carbonique	0,00		1,50
Humidité	0,20		0,60

Les travaux de reconnaissance ont été poussés activement et, d'après les derniers renseignements (*), quatre sociétés sont actuellement engagées dans l'exploitation de ces nouveaux gîtes.

La Tennessee Phosphate C^y achève la ligne de chemin de fer de 12 milles de longueur qui doit réunir ses exploitations avec le Louisville and Nashville R^y. Elle a passé

(*) *American Fertilizer*, vol. 1, n° 4, p. 209.

avec MM. Davis et Craik un contrat de 30.000 tonnes de phosphate en roche, comme début d'exploitation.

Cette compagnie exploitera du phosphate en roche.

La Southwestern Phosphate C^y, qui a déjà fait un certain nombre d'expéditions de phosphate en roche titrant 65 p. 100 de tribasique, s'est reliée par un chemin de fer de 3 milles et demi à la ligne Nashville and Tennessee R^y.

La Duck River Phosphate C^y transporte ses produits jusqu'à Centreville où ils sont chargés sur wagons, au moyen de chalands circulant sur la Duck River.

La plupart des exploitations se sont faites jusqu'ici à ciel ouvert. Il y a notamment dans la vallée de la Fall River des quantités considérables de phosphate en roche (700.000 tonnes) exploitables par simple découvert.

Les exploitations de la société dite Swan Creek Phosphate C^y, qui ont été entreprises pendant le courant du mois de septembre dernier, sont commencées sur un banc phosphaté très riche donnant jusqu'à 75 p. 100 de tribasique. Ce banc se trouve près de l'embouchure du Blue Buck Creek dans le comté d'Hickmann.

Ces phosphates vont s'embarquer sur le Tennessee soit à Florence, soit à Jacksonville après un parcours par rails d'environ 70 milles. Ce trajet sera raccourci de moitié lorsque l'extension du réseau du Tennessee Midland R^y aura atteint la région des phosphates, ce qui ne tardera guère. Dans ces conditions, les exploitants comptent pouvoir rendre le phosphate en roche, base 70 p. 100, à $ 5 la tonne sur wagon à New-Orléans.

Les ventes de terrains phosphatés s'opèrent actuellement sur le pied de $ 20 à 25 l'acre, soit environ 250 à 300 francs l'hectare.

(*La fin à la prochaine livraison.*)

Digitized by

BULLETIN

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA BELGIQUE EN 1893.

I. — Charbonnages.

1° *Exploitation.* — La production houillère de la Belgique a été, en 1893, de 19.410.519 tonnes, d'une valeur totale de 181.405.900 francs. Ces résultats, comparés à ceux de 1892 (*), accusent une diminution de 172.654 tonnes et de 19.883.100 fr.

Cette extraction s'est répartie comme suit entre les districts houillers.

	Tonnes.	Francs.
Hainaut	14.071.430	130.836 000
Namur	495.517	3.455.600
Liège	4 843.572	47.114 300
Totaux	19.410.519	181.405.900

Le personnel ouvrier a diminué, en 1893, de 1.717 individus, dont 723 femmes employées au fond. Cette réduction du personnel féminin occupé aux travaux souterrains est une des conséquences de l'application de la loi du 13 décembre 1889 sur le travail des femmes, des adolescents et des enfants. Ce n'est qu'à partir du 1er janvier 1892 qu'aux termes de l'article 9, cette loi a pu être appliquée aux mines; elle a eu pour effet de réduire, en deux ans, de 1.519 ouvrières le personnel intérieur des charbonnages.

L'effectif du personnel ouvrier a été de 116.861 travailleurs, dont voici la répartition :

(*) Voir, pour la Statistique de 1892, *Annales des mines*, 1er vol. de 1894, p. 131.

Digitized by Google

		Ouvriers à l'intérieur	Ouvriers à la surface
Hommes et garçons	au-dessus de 16 ans	77.730	20.441
	de 14 à 16 ans	4.765	1.578
	de 12 à 14 ans	1.638	1.041
Femmes et filles	au-dessus de 21 ans	623	1.617
	de 16 à 21 ans	1.505	3.526
	de 14 à 16 ans	44	2.353
	Totaux	86.305	30.556
		116.861	

La production par ouvrier du fond a été de 225 tonnes, soit 4 tonnes de plus qu'en 1892.

La production par ouvrier du fond et de la surface réunis a été de 166 tonnes, 1 de plus que l'année précédente.

Le montant des salaires s'est élevé, en 1893, à la somme de 103.648.600 francs, ce qui établit le salaire annuel moyen de l'ouvrier, sans distinction de travail ni de sexe, à 887 francs. En réalité, si l'on déduit les retenues pour les institutions de prévoyances, certaines consommations et les amendes, ce salaire se réduit à 871 francs, et le salaire journalier moyen, à raison de 285 jours de travail, à 3f,06. Par rapport à celui de l'année précédente (957 francs), le salaire annuel a fléchi de 7,4 p. 100, et le salaire journalier de 7 p. 100.

Le tableau suivant indique ce qu'ont été les salaires bruts et nets dans chacun des centres producteurs :

	Salaires bruts	Retenues	Salaires nets	Nombre de jours de travail	Salaire journalier net
	francs	francs	francs		fr. c.
Couchant de Mons	776	10	766	271	2,86
Centre	923	34	889	282	3,15
Charleroi	902	20	882	288	3,06
Namur	819	4	815	287	2,84
Liège	965	6	959	294	3,26
Le Royaume	887	16	871	285	3,06

Le salaire journalier net de 3f,06 se décompose comme suit :

Ouvriers de la surface 2f,40
Ouvriers du fond 3f,29

2° *Mouvement commercial des combustibles.* — Le mouvement

Digitized by Google

commercial des combustibles en Belgique, durant l'année 1893, se résume dans les chiffres suivants :

			Tonnes
Production			19.410.519
Importation	Houille	1.288.640	1.684.869
	Briquettes	5.545	
	Coke	287.560	
Exportation	Houille	4.819.887	6.571.364
	Briquettes	489.225	
	Coke	941.663	
Consommation			14.524.024

Le coke a été exprimé en houille, dans le total de l'importation, de l'exportation et de la consommation, à raison d'un rendement en coke de 73,5 p. 100 de houille.

Quant aux briquettes, il a été compté 90 kilogrammes de houille pour 100 kilogrammes d'agglomérés.

II. — Mines métalliques et minières.

La production des mines métalliques et des minières de la Belgique, en 1893, a été la suivante :

	Tonnes.		Francs.
Minerais de fer	281.465	valant	1.477.900
Minerais de plomb	67		7.600
Minerais de zinc	11.310		635.800
Pyrite	6.301		49.000
Manganèse	16.820		209.500
Représentant une valeur totale de			2.379.800

Cette valeur est supérieure de 61.200 francs à celle de l'année précédente.

L'effectif du personnel ouvrier a été de 1.804 individus, ne comprenant ni femmes, ni filles, et seulement 11 enfants.

III. — Carrières.

Le tableau ci-dessous indique, pour l'année 1893, les quantités et les valeurs des produits extraits des carrières belges :

	QUANTITÉS.		VALEURS.
Pierres de taille	144.795	m. cubes.	14.934.000 fr.
Chaux, moellons et pierrailles	2.500.827	m. cubes.	9.491.000
Pierres à paver	96.041.650	pièces.	8.570.000
Dalles et carreaux	90.780	m. carrés.	264.000
Marbre	13.147	m. cubes.	2.534.000
Ardoises	32.508.500	pièces.	1.031.000
	615	m. cubes.	30.000
Pierres à faux et à rasoir	?		46.000

Castine	166.425	m. cubes.	351.000 fr.
Dolomies	3.500	m. cubes.	7.000
Terres plastiques	192.262	tonnes.	1.436.000
Marne et craies	46.295	m. cubes.	142.000
Sable	389.970	m. cubes.	654.000
Silex pour faïencerie	32.850	m. cubes.	202.000
Silex, gravier et pierrailles pour empierrement	7.280	m. cubes.	19.000
Terres ocreuses et autres pour couleurs	880	m. cubes.	7.000
Sulfate de baryte	41.500	tonnes.	291.000
Feldspath	1.800	m. cubes.	16.000
Phosphate de chaux	331.230	m. cubes.	1.405.000
Représentant une valeur totale de			41.433.000 fr.

La valeur de la production des carrières est supérieure de 2.991.000 francs à celle de 1892. L'augmentation a porté principalement sur les pierres de taille, la chaux et les moellons, ainsi que sur les pavés et le marbre.

Il y a eu 1.559 carrières en exploitation, comprenant dans leur ensemble 1.225 sièges à ciel ouvert et 643 sièges souterrains, et occupant 29.191 ouvriers.

Les ouvrières ont complètement disparu des travaux souterrains, par application de la loi du 13 décembre 1889.

IV. — Métallurgie.

Les usines métallurgiques sont réparties en cinq groupes :

1° *Hauts fourneaux.*

Nombre d'usines (actives)	17
Nombre de hauts fourneaux (actifs)	30
Nombre d'ouvriers	2.881
Production en fonte	745.261 tonnes.
Valeur de la production	36.052.500 francs.
Prix moyen de la tonne	48fr,38

2° *Usines à fer.*

Nombre d'usines (actives)	62
Nombre de fours à puddler (actifs)	431
Id. à réchauffer (id.)	198
Id. autres (id.)	207
Nombre d'ouvriers	16.199
Production en fers finis	485.021 tonnes.
Valeur de la production	61.873.100 francs.
Prix moyen de la tonne	127fr,57

3° *Aciéries.*

Nombre d'usines (actives)	10
Nombre de fours Martin (actifs)	5
Nombre des convertisseurs (actifs)	13
Nombre de fours à réchauffer (actifs)	40

Digitized by Google

Nombre d'ouvriers	3.403
Production en acier (produits finis)	224.922 tonnes.
Valeur de la production	28.868.300 francs.
Prix moyen de la tonne	128fr,34

4° *Usines à zinc.*

Nombre d'usines (actives)	12
Nombre de fours (actifs	345
Nombre d'ouvriers	4.112
Production en zinc brut	95.665 tonnes.
Valeur de la production	39.602.100 francs.
Prix moyen de la tonne	413fr,97

5° *Usines à plomb et argent.*

Nombre d'usines (actives)		4
Nombre de fours à manche (actifs)		16
Nombre de fours à réverbère (id.)		3
Nombre de fours de coupelle (id.)		4
Nombre d'ouvriers		515
Production.	Plomb brut	12.006 tonnes.
	Argent	26.717 kilogr.
Valeur de la production.	Plomb brut	3.075.600 francs.
	Argent	3.455.400 francs.
Prix moyen	de la tonne de plomb brut	256fr,17
	du kilogramme d'argent	129fr,33

V. — Accidents.

Les accidents survenus dans le courant de l'année 1893 se répartissent comme suit :

	CHARBONNAGES	MINES métalliques et minières	CARRIÈRES	USINES	TOTAL
Nombre d'accidents	191	3	11	18	223
Morts	131	1	11	12	155
Blessés grièvement	73	2	0	8	83

Le nombre des ouvriers occupés dans les charbonnages ayant été (fond et surface réunis) de 116.861, la proportion des ouvriers tués, afférente à l'industrie houillère, a été de 1,12 par 1.000 travailleurs, résultat relativement favorable. La moyenne décennale (1884-1893) ressort en effet à 1,82 par 1.000.

La classification par *causes* des accidents survenus dans les houillères est donnée dans le tableau suivant :

Digitized by Google

	NOMBRE des Accidents.	NOMBRE des Tués.	NOMBRE des Blessés.
I. — *Intérieur des travaux.*			
Accidents survenus dans les puits et dans les descenderies conduisant aux travaux souterrains — A l'occasion du transport des ouvriers — Par câbles, cages, etc.	7	6	2
— A l'occasion du transport des ouvriers — Par échelles	1	1	»
— A l'occasion du transport des ouvriers — Par fahrkunst	»	»	»
— Par éboulements, chutes de pierres et corps durs	4	4	»
— Dans d'autres circonstances	12	12	3
Accidents survenus dans les puits intérieurs et les cheminées d'exploitation — Par l'emploi des câbles	»	»	»
— Par l'emploi des échelles	»	»	»
— Dans d'autres circonstances	5	4	1
Éboulements (y compris chutes de pierres et blocs de houille, etc.) dans les chantiers et les voies	74	52	23
Accidents causés par le grisou — Dégagement normal — Inflammations dues aux coups de mines	»	»	»
— Inflammations dues aux appareils d'éclairage — Ouverture de lampes	3	7	»
— Inflammations dues aux appareils d'éclairage — Défectuosités, bris, etc.	»	»	»
— Inflammations dues à des causes diverses ou inconnues	»	»	»
— Asphyxies	»	»	»
— Irruptions subites suivies d'inflammation	»	»	»
— Irruptions subites suivies d'asphyxies, de projections de charbon ou de pierres, etc.	3	5	»
Asphyxies par d'autres gaz que le grisou	1	1	»
Coups d'eau	»	»	»
Emploi des explosifs — Tirage des mines	10	6	5
— Autres causes	2	»	2
Transport et circulation des ouvriers — Sur voies de niveau ou peu inclinées	17	6	11
— Sur voies inclinées où le transport s'effectue par hommes et chevaux	1	»	1
— treuils ou poulies	25	15	11
— traction mécanique	»	»	»
Causes diverses	10	5	5
Total	175	124	64
II. — *Surface.*			
Chutes dans les puits	»	»	»
Manœuvres de véhicules	6	2	4
Machines et appareils mécaniques	6	3	3
Causes diverses	4	2	2
Total	16	7	9
Total général	191	131	73

(Extrait de la *Statistique des mines, minières, carrières, usines métallurgiques et appareils à vapeur*, pour l'année 1893, par M. E. Harzé.)

Digitized by Google

Digitized by Google

ÉTUDE

SUR

L'INDUSTRIE DES PHOSPHATES

ET SUPERPHOSPHATES

(TUNISIE — FLORIDE — SCORIES BASIQUES)

Par M. DAVID LEVAT,
Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines.

(*Suite et fin.*) (*)

CHAPITRE III.

PHOSPHATES INDUSTRIELS.

I. — Superphosphates et phosphates précipités.

Définitions. Superphosphate. Principe de sa fabrication. — On désigne sous le nom de superphosphate le produit du traitement des phosphates naturels par l'acide sulfurique. Dès 1840, Liebig proposait ce procédé pour augmenter l'assimilabilité des phosphates naturels. Cette opération a été généralement considérée jusqu'à présent comme nécessaire pour permettre l'absorption de l'acide

(*) Voir *suprà*, p. 5-128.

Digitized by Google

phosphorique par les végétaux, bien que le mécanisme de cette migration soit encore entouré de beaucoup d'obscurité.

Phosphate précipité. Fabrication. — Le phosphate précipité s'obtient en traitant les phosphates naturels, surtout ceux à gangue siliceuse ou argileuse, par l'acide chlorhydrique, de façon à dissoudre la totalité de la chaux et de l'acide phosphorique. Le résidu insoluble contient les impuretés, sable, argile, etc.

La solution est ensuite précipitée par l'addition d'un lait de chaux ou de magnésie. Si le réactif est suffisamment clair, il se produit un précipité ténu et volumineux de phosphate bicalcique avec une certaine proportion de tricalcique.

L'habileté du fabricant consiste à opérer la précipitation, dans des conditions déterminées de concentration et surtout de température des liqueurs, et par additions successives du précipitant, de manière à obtenir une proportion aussi faible que possible de phosphate tricalcique dans le dépôt.

Le phosphate tribasique précipité, tout en étant, par sa ténuité même, bien plus assimilable que le phosphate naturel qui lui a donné naissance n'est que très partiellement soluble dans le citrate d'ammoniaque et par conséquent ne ressort pas à l'analyse commerciale et n'est pas payé.

On arrive couramment à obtenir des phosphates précipités ne tenant pas plus de 5 p. 100 de phosphate tricalcique.

Le fer et l'alumine restent en dissolution avec le chlorure de calcium.

Superphosphates concentrés. — Les superphosphates concentrés dits « solubles », dont la fabrication s'est

Digitized by Google

considérablement développée dans ces dernières années, puisqu'on estime que la consommation annuelle de ces produits dépasse 120.000 tonnes, s'obtiennent en traitant les phosphates naturels pauvres, en général les craies phosphatées, par une des nombreuses formules de traitement brevetées ou tenues secrètes, toutes basées sur le principe du procédé Müller-Packard. Voici en quoi il consiste.

Fabrication. — On attaque le phosphate naturel pauvre par l'acide sulfurique. L'opération se fait mécaniquement comme pour le superphosphate, dans deux pétrins verticaux superposés.

L'opération dure une heure dans chaque appareil. Après la première heure, la charge descend dans le pétrin inférieur, tandis qu'une charge nouvelle est introduite dans le pétrin supérieur de manière à assurer une fabrication continue.

Après la deuxième heure de brassage, la dissolution est considérée comme complète et l'acide phosphorique est mis en liberté. On passe alors la matière au filtre-presse. Les eaux de lavage des tourteaux servent à étendre l'acide sulfurique à 66°, destiné à une nouvelle attaque, pour le ramener à 53° Baumé, titre convenable pour la décomposition du phosphate naturel.

Quant à la dissolution d'acide phosphorique, titrant 8° à la sortie des filtres-presses, elle est concentrée dans des fours à réverbère jusqu'à la densité de 1,5 à 1,6. Elle est alors employée exactement de la même manière que si c'était de l'acide sulfurique, à attaquer des phosphates naturels, en calculant les proportions, de manière à mettre en présence deux équivalents d'acide phosphorique pour un équivalent de phosphate de chaux, de façon à obtenir, en fin de réaction, trois équivalents de phosphate monobasique solubles dans l'eau.

Digitized by Google

On obtient par ce procédé, en partant de craies phosphatées à 40 p. 100 de tricalcique, des phosphates titrant 14 à 16 p. 100 d'acide phosphorique soluble dans l'eau.

En résumé :

Les *superphosphates ordinaires* contiennent en général de 10 à 14 p. 100 d'acide phosphorique *soluble dans l'eau*, c'est-à-dire à l'état de *phosphate monocalcique.*

Les *phosphates précipités* contiennent 40 à 45 p. 100 d'acide phosphorique à l'état de *phosphate bicalcique*, c'est-à-dire *soluble au citrate*, mais *insoluble dans l'eau.*

Les *superphosphates concentrés* dit « solubles » contiennent de 14 à 16 p. 100 d'acide phosphorique *soluble dans l'eau*, c'est-à-dire à l'état de *phosphate monocalcique.*

Voici quelle était la valeur, à Paris et sur les principales places de France, de ces produits en avril 1894 :

Digitized by Google

Prix courant des superphosphates (avril 1894).

(Aux 100 kilogrammes.)

PRIX SUR WAGON en gare de :	SUPERPHOSPHATE MINÉRAL soluble au citrate 10/12	12/14	14/16	16/18	SUPERPHOSPHATE MINÉRAL soluble dans l'eau 12/14	14/16	PHOSPHATE précipité titrant 40/45 au citrate	SUPER-PHOSPHATE d'os purs 16/18	POUDRE d'os verts 4 à 5 p. 100 azote 40 à 45 p. 100 phosphate	SCORIES basiques titrant 14/16	16/18	OBSERVATIONS
Paris.	5,20	5,99	6,85	7,30	6,70	7,60	21,50	11,50	13,00	5,25	6,25	1 p. 100, 30 j., minimum 5 ton.
Lille	4,60	5,30	6,05	6,85	5,75	6,60	»	»	»	»	»	Id. id. 1
Saint-Quentin. . . .	5,30	5,90	6,55	7,45	6,50	7,55	»	11,90	»	»	6,00	Id. id. 1
Granville.	6,55	7,00	7,50	8,50	7,00	8,00	22,00	11,55	»	5,00	5,40	Id. id. 5
Nantes	5,85	6,45	7,35	8,30	7,00	7,95	22,00	11,85	13,50	5,10	5,25	1 p. 100, 90 j., minimum 1
La Rochelle. . . .	5,55	6,25	7,25	»	»	8,25	»	»	»	»	»	1 p. 100, 30 j., minimum 1
Bordeaux	5,35	6,35	7,35	»	7,30	8,40	24,00	11,75	»	6,00	6,15	Id. id. 1
Bayonne.	5,80	6,80	8,00	9,50	»	»	»	»	»	6,25	6,50	Id. id. 1
Villefranche.	5,35	6,35	7,35	8,50	7,00	8,00	22,00	11,00	12,50	6,00	6,00	Id. id. 1
Marseille.	6,10	7,00	8,15	9,25	7,65	8,90	23,50	10,10	»	»	»	Id. id. 1
Lyon	5,90	7,00	8,15	9,25	7,40	8,50	20,90	11,50	»	6,00	6,00	Id. id. 1
Avignon	6,50	7,40	8,45	9,55	7,40	8,55	»	»	»	»	»	Id. id. 1
Cette.	6,20	7,15	8,30	9,40	7,75	9,00	»	»	»	»	»	Id. id. 1
Dijon.	5,15	6,65	6,75	»	7,00	»	»	11,00	»	»	»	Id. id. 5
Nancy	6,00	6,80	7,80	»	7,80	»	»	11,00	13,50	5,50	5,50	Id. id. 1

Les prix indiqués dans ce tableau sont ceux faits à la clientèle de détail. Ils ne représentent que très approximativement ceux pratiqués pour des affaires d'une certaine importance.

Prix courant des phosphates naturels de 1880 *à* 1893. — J'ai figuré d'autre part, à la Pl. II, fig. 11, le diagramme des variations du cours des phosphates naturels enrichis à 55/60, et des craies phosphatées à 40/45, de 1880 à 1893.

Les prix figurés dans ce schéma s'entendent par tonne de 1.000 kilogrammes minerai séché, franco sur wagon, usine.

Mesure de l'assimilabilité. — On admet que l'assimilabilité d'un phosphate par les plantes est plus ou moins proportionnelle à la solubilité de ce phosphate dans le citrate ammoniacal composé comme suit :

Acide citrique cristallisé, 400 grammes.
Ammoniaque liquide, à 22°, 500cc.

On mélange les deux corps; l'acide se dissout avec dégagement de chaleur et d'ammoniaque. On laisse refroidir et on étend au volume d'un litre en ajoutant de l'ammoniaque à 22°.

C'est la liqueur normale de citrate employée actuellement, d'une manière générale dans le commerce des superphosphates, pour mesurer l'assimilabilité des engrais et pour contrôler les garanties données par le fabricant, de la teneur en acide phosphorique dit soluble au citrate, le seul qui soit payé par les consommateurs.

Cette méthode purement empirique due à Joulie a été légèrement modifiée par le congrès de Halle (18 décembre 1881) qui en a conservé cependant les lignes générales et qui, en tout cas, a maintenu le citrate ammoniacal

comme étalon de l'assimilabilité des superphosphates, après examen des résultats donnés par les autres dissolvants faibles tels que l'acide acétique, l'oxalate d'ammoniaque, etc.

Depuis lors, les études sur le mode d'absorption de l'acide phosphorique par les plantes ont produit des résultats nouveaux : l'apparition des scories basiques, dont le phosphate est assimilable par les végétaux, quoique n'étant soluble qu'en très faible proprotion dans le citrate alcalin (voir le tableau de la page 197), à condition qu'on opère sur des terrains siliceux ou acides et que leur broyage à l'état de poudre fine soit suffisant pour assurer leur action sur la végétation; les anomalies bien connues que présentent les noirs de raffinerie, dont l'acide phosphorique est assimilable directement; tous ces faits démontrent que la mise sous forme de superphosphates n'est pas la manière unique de rendre le phosphate tribasique, réputé insoluble, assimilable par les végétaux. J'exposerai d'ailleurs dans la partie de ce chapitre qui traite des scories basiques, les travaux récents relatifs à cette importante question de l'assimilabilité de l'acide phosphorique par les plantes.

Il est non moins incontestable cependant que, dans les sols calcaires, l'action des superphosphates ordinaires à 12/15 p. 100 d'acide phosphorique est beaucoup plus rapide que tout autre mode d'introduction du phosphore dans les plantes. Dans les terrains acides ou argileux, leur action est moins immédiate, et d'autres engrais phosphatés, notamment les scories et même certains phosphates naturels, donnent des résultats au moins égaux et souvent supérieurs à ceux obtenus par l'emploi des superphosphates.

Mode d'application. — Le mode de répartition du phosphate dans le sol n'est d'ailleurs pas indifférent.

A la suite d'expériences récentes, M. Schlœsing (*) observe que, si soluble que soit un phosphate, il est à peu près insolubilisé par l'oxyde de fer, aussitôt après son épandage sur le sol arable. Convient-il dans ces conditions de répartir l'engrais d'une manière uniforme sur toute la surface du sol ou de le localiser?

Tous les auteurs recommandent l'éparpillement des engrais.

L'engrais rendu insoluble n'est assimilé d'après M. Schlœsing, qu'au contact direct des agents d'absorption. Or la surface des éléments du sol est énorme par rapport à la surface des éléments végétaux qui absorbent.

Si on suppose que le rapport de la surface des éléments absorbants à celle de la surface du sol soit de 1/10, de 1/20; si l'engrais est réparti également sur toute la surface du sol, le maximum d'absorption sera de 1/10, de 1/20 de l'engrais employé.

En fait, la pratique montre que l'absorption est beaucoup plus considérable.

Il y a deux ans, M. Schlœsing a entrepris des expériences comparatives sur le mode de répartition des engrais.

Il a dissous du superphosphate de chaux dans l'eau et en a arrosé une terre donnée, de manière à répartir également l'engrais dans toute la masse.

Comparativement, il a semé du superphosphate en lignes très minces, — de manière à tracer dans le sol un réseau de sillons, aussi peu apparents que des ficelles et espacés de $0^{m},16$.

Sur ces deux sols, on a cultivé du blé, des pois, des haricots, des pommes de terre et des betteraves.

L'analyse et la pesée ont montré que l'engrais semé

(*) Société Nationale d'Agriculture, séance du 28 mars 1894.

Digitized by Google

en lignes était plus profitable que l'engrais réparti partout.

Il semble donc résulter de ces expériences que l'engrais localisé est mieux utilisé par les plantes.

Ce fait est analogue à celui qui se produit dans une prairie.

Ces essais ont été repris en grand par un professeur de botanique à la Faculté des sciences de Toulouse, et cette expérience a confirmé les résultats des premières recherches de M. Schlœsing.

M. Peterman, qui avait déjà fait antérieurement une étude de cette même question, était arrivé à des conclusions identiques.

Le dosage le plus habituellement employé varie entre 100 et 150 kilogrammes d'acide phosphorique, soit 800 à 1.000 kilogrammes de superphosphate par hectare. L'application dépend d'ailleurs de la nature et de la pauvreté en acide phosphorique des terrains, de l'époque de l'épandage, du genre de culture, de l'assolement, etc. Les stations agronomiques sont maintenant suffisamment nombreuses dans les départements pour pouvoir donner à tous les cultivateurs désireux d'entrer dans la voie du progrès, les indications nécessaires pour opérer avec discernement et assurer le succès de l'opération. Les syndicats agricoles ont eu aussi, à ce point de vue, un excellent effet, tant par la vulgarisation des principes sur lesquels se base l'emploi des engrais chimiques que par leur achat, pour le compte des intéressés, au prix du gros, avec toutes les garanties de bon marché et de titre.

Fabrication des superphosphates. — Le principe de cette fabrication est des plus simples. En attaquant le phosphate tribasique par l'acide sulfurique on obtient du phosphate monocalcique soluble dans l'eau et du sulfate de chaux :

$$PhO^5.3CaO + 2(SO^3.HO) = PhO^5.CaO.2HO + 2SO^3.CaO$$

cette équation théorique ne rend pas un compte exact des réactions qui se produisent lorsqu'on verse peu à peu, comme cela se fait dans la pratique, de l'acide suffisamment étendu sur du phosphate tricalcique. Il se produit d'abord une certaine quantité d'acide phosphorique libre :

$$3[2(SO^3Aq)+PhO^5.3CaO]=6CaO.SO^3+Aq+(2PhO^5+PhO^5.3CaO).$$

Il faut éviter l'élévation considérable de température qui se produirait si on opérait le mélange tout d'un coup et si on employait de l'acide concentré à 66° Baumé, car le phosphate monocalcique, même en solution, se décompose à 100° en donnant :

$$PhO^5.CaO.2HO = PhO^5 + PhO^5.2CaO;$$

et de plus entre 120 et 150° C. le sulfate de chaux passe à l'état anhydre, il décompose alors le phosphate monocalcique pour lui prendre son eau. Or, comme on le sait, le phosphate bicalcique produit par ces réactions secondaires n'est pas soluble dans l'eau.

Les questions de température de la masse pendant les réactions sont donc de la plus grande importance. On ne saurait en donner une description ; elles font partie de l'éducation spéciale du personnel de chaque usine ; c'est dire qu'elles varient suivant la nature des matières traitées, les conditions locales, les tours de main de fabrication, l'outillage employé, etc.

La fabrication des superphosphates de qualité marchande exige comme condition primordiale et essentielle que le produit, après traitement par l'acide et cristallisation du sulfate de chaux, reste sec et poreux et se pulvérise facilement sans s'agglomérer par la suite. C'est une condition absolue pour la vente.

Il faut, d'autre part, qu'il ne reste pas ou presque pas de phosphate tribasique inattaqué. Pour être sûr qu'il en

Digitized by Google

soit ainsi, on serait tenté d'ajouter un petit excès d'acide; mais on obtiendrait alors un produit boueux, impossible à sécher et invendable.

Aussi le talent du fabricant est-il de chercher les phosphates naturels qui, par leur nature, leur grain, se laissent le mieux attaquer par l'acide. La présence d'une gangue calcaire n'est pas désavantageuse parce que si, d'une part, elle absorbe en pure perte une certaine quantité d'acide, elle assure par contre la qualité grenue et sèche du produit, par suite de la cristallisation en masse du sulfate de chaux; ce sulfate est, d'ailleurs, dans la majeure partie des cas, favorable à la végétation. Quant au titre, on le relève, si c'est nécessaire, par une addition de superphosphate riche; c'est même là le principal emploi de ce produit.

Pendant leur transformation en superphosphate, par suite de dégagements de gaz, évaporation de l'eau par la chaleur, etc., les phosphates traités donnent toujours une certaine perte de poids au travail, perte de poids qui dépend de la nature et de l'origine du phosphate naturel traité. Cette considération entre en ligne de compte dans le prix d'achat des phosphates naturels, et les phosphatiers font toujours, avec raison, un essai industriel quand ils sont en présence d'un phosphate d'origine nouvelle, avant d'en faire l'achat.

Les qualités Caroline du Sud et Tunisie donnent d'excellents superphosphates par leur traitement, sans aucun mélange avec des phosphates d'autre origine.

Ceux qui proviennent de la craie grise (Ciply, etc.) s'attaquent aussi très régulièrement, donnent une prise rapide et fournissent des superphosphates qui restent secs et ne s'agglomèrent pas en sacs.

Les phosphates de l'Auxois donnent, au travail, beaucoup de gaz. La perte est de 6,5 p. 100 environ.

Les phosphates très riches ne sont pas les plus faciles

Digitized by Google

à attaquer et demandent à être mélangés à d'autres sortes pour se prêter à un travail économique.

Les apatites par exemple ne dégagent que très peu de gaz pendant la fabrication, mais ne donnent qu'un superphosphate lourd et compact. On les mélange avec des phosphorites concrétionnées, mais le produit reste toujours un peu humide.

Conditions générales que doit réunir une usine à superphosphates. — On voit, d'après ce que nous venons de dire sur la fabrication des superphosphates que, pour être économiquement conduite, elle doit s'opérer par des moyens purement mécaniques. Voici la description de l'ensemble d'une usine de ce genre :

Elle doit être placée au bord d'un canal, ou reliée à un chemin de fer de façon à réduire au minimum les prix de transport des matières premières et des produits fabriqués.

Cette question de bonne situation de l'usine est vitale, car on opère sur des matières ayant somme toute une valeur très faible, qui ne peuvent pas supporter de faux frais.

Elle ne doit pas, pour la même raison, être trop éloignée des centres agricoles aux besoins desquels elle est destinée à subvenir.

Enfin, elle doit fabriquer elle-même et à très bon marché l'acide sulfurique qui lui est nécessaire.

On peut poser comme règle à peu près absolue que, dans les conditions actuelles du marché, toute usine à superphosphate qui emploie de l'acide sulfurique lui coûtant, amortissement de ses chambres de plomb compris, plus de 22 à 24 francs les 1.000 kilogrammes, se trouve dans de mauvaises conditions de marche.

Il est impossible d'entrer dans le détail des combinaisons multiples et ingénieuses qui permettent dans bien

Digitized by Google

des cas d'arriver à un prix de revient très notablement inférieur à celui que je viens de citer. Le grillage gratuit des minerais de cuivre et de plomb, le produit grillé étant rendu ensuite aux usines métallurgiques, est un des moyens les plus usités. On fait maintenant la même opération avec les blendes, qu'on est arrivé à griller très complètement dans des fours spéciaux, malgré les difficultés très réelles de cette opération. Ces combinaisons sont très fréquemment employées en Belgique et en Allemagne où il arrive beaucoup de minerais sulfurés destinées à être traitées dans les usines des bords du Rhin.

Rétrogradation. — On désigne sous ce nom le phénomène dont le résultat est d'abaisser le titre en acide phosphorique soluble dans l'eau, d'un superphosphate après sa fabrication.

Cette rétrogradation est produite par des réactions secondaires principalement lorsque le phosphate traité contient une certaine proportion de fer et d'alumine. Aussi a-t-on été jusqu'à présent très exigeant pour la teneur des phosphates naturels en impuretés de ce genre, source de difficultés pour les fabricants obligés de garantir un titre déterminé en phosphate soluble, qui s'exposeraient à ne pas l'atteindre par suite de la rétrogradation en magasin, ou même en cours de fabrication.

Il est à remarquer, en effet, que le phénomène de la rétrogradation n'est pas toujours un effet de réactions lentes. Les phosphates du Nassau et de la Côte-d'Or rétrogradent fréquemment de près d'un tiers pendant le traitement même par l'acide. Il est à remarquer que ces phosphates contiennent des quantités notables de fer (jusqu'à 8 p. 100), ce qui confirme l'influence prédominante du fer dans la réaction qui nous occupe.

Nous verrons plus loin en parlant de l'assimilabilité des phosphates que l'acide phosphorique rétrogradé, s'il

Digitized by Google

devient insoluble dans l'eau, reste du moins soluble dans les acides faibles qu'on rencontre dans les eaux qui séjournent sur le sol arable, l'acide carbonique, l'acide ulmique, etc., si bien que loin d'être perdu comme effet utile, il se trouve dans d'excellentes conditions pour fournir à la végétation un apport progressif de phosphore.

Il est certain du reste que l'acide phosphorique soluble du superphosphate passe, aussitôt après l'épandage, à l'état de phosphate tribasique insoluble par la réaction des sels calcaires et de l'oxyde de fer contenus dans le sol arable, mais ce phosphate récemment précipité dans un état de division extrême, reste assimilable au même titre que celui qui a rétrogradé antérieurement dans le superphosphate. Il n'y a donc aucune raison valable qui permette d'attribuer au phosphate rétrogradé le caractère de perte qu'on a été d'abord conduit à lui attribuer par un examen superficiel des réactions mises en jeu dans l'assimilation du phosphore par les végétaux.

Usines françaises. Compagnie de Saint-Gobain. — En France, la Compagnie de Saint-Gobain, avec ses nombreuses usines au nombre de sept et son énorme production annuelle (300.000 tonnes) d'engrais phosphatés, production qui a été néanmoins, en 1894, inférieure aux demandes, contrôle en fait le marché de ces matières. Elle a d'ailleurs beaucoup fait pour aider au développement de l'emploi des engrais phosphatés, tant par la qualité de ses produits que par la sécurité des dosages qu'elle garantit.

On verra néanmoins dans les statistiques que je donne à la fin de ce travail, que nous importons encore une assez grande quantité de superphosphate de l'étranger. Cette importation, qui va d'ailleurs constamment en décroissant depuis quelques années, est encore d'une centaine de mille tonnes. Or, comme nous en exportons nous-

mêmes environ 60.000 tonnes, notre importation annuelle de superphosphates n'est en définitive que de 40.000 tonnes environ, soit à peu près 12 p. 100 de notre consommation.

C'est la région ouest de la France, les Charentes, la Basse-Loire, la Bretagne, qui est le plus dépourvue d'usines à superphosphates. Aussi la Compagnie de Saint-Gobain a-t-elle décidé tout récemment de construire, indépendamment de sa nouvelle usine de Balaruc (Cette), deux autres centres de fabrication, l'un à Montargis, à l'installation duquel on procède en ce moment même, et un autre à Tours.

Usines belges. — En Belgique, la production des superphosphates a atteint en 1893 le chiffre considérable de 290.000 tonnes.

Sur ce total, les 5/6 environ (exactement 256.372 tonnes) ont été produits par le Syndicat qui porte le titre de Société générale des Fabricants d'engrais chimiques. Voici quelle a été la progression de sa production :

ANNÉES	PRODUCTION totale	COEFFICIENT d'accroissement
	tonnes.	
1880	10.500	»
1887	70.500	6,61
1893	256.372	21,38

La Compagnie Solvay (France et Belgique) a produit, de 1884 à 1893, les quantités suivantes de superphosphate :

ANNÉES	PRODUCTION totale	COEFFICIENT d'accroissement
	tonnes.	
1884	7 855	»
1885	15.250	2,00
1886	9.000	1,15
1887	12.000	1,53
1888	24 000	3,60
1889	39.000	5,00
1890	69 000	8,99
1891	72.000	9,23
1892	74.000	9,49
1893	85.705	10,90
Total. . .	407.810	

Cette Compagnie traite à Mesvin-Ciply, Spiennes et Ciply, près de Mons, des craies phosphatées qu'elle vend après enrichissement ou qu'elle transforme en superphosphates dans ses propres usines.

Elle produit aussi des superphosphates dans son usine d'Hemixem, près d'Anvers, ainsi que dans l'usine de la Madeleine-lès-Lille, qui appartient à cette même société.

Elle possède enfin près de Doullens les exploitations d'Orville, d'où elle extrait des phosphates riches.

Les usines à phosphate de la Société Solvay, dirigées avec beaucoup de compétence par M. Alfred Lemonnier, sont surtout intéressantes par les divers procédés d'enrichissement de la craie phosphatée qui y sont installés ou qui ont été essayés. Nous en dirons quelques mots.

Traitement de la craie phosphatée. — A la fabrication des superphosphates se rattache étroitement la question de l'enrichissement de la craie phosphatée.

Il est en effet indispensable d'élever le titre de ces minerais aux environs de 55 p. 100 de tribasique, au minimum, pour permettre leur traitement économique par l'acide.

D'autre part, l'énorme quantité de phosphate contenu dans les gisements de ces matières, les bas prix de leur

extraction, leur proximité des lieux de consommation, sont autant d'éléments qui donnent à ce problème de l'utilisation de la craie grise une importance capitale.

En Belgique notamment et dans le nord de la France où la craie grise couvre des étendues considérables, les efforts ont porté principalement sur le lavage de ces matières.

Procédés chimiques. — D'une manière générale on peut dire que tous les procédés basés sur un traitement chimique par voie humide, pour enrichir les craies phosphatées, ont donné de mauvais résultats.

Procédé Ortlieb. — Dans le procédé Ortlieb, qui a fonctionné à l'usine Solvay pendant un certain temps, on attaquait le phosphate naturel préalablement pulvérisé, par une dissolution d'acide sulfureux. Cet acide faible déplaçait l'acide carbonique et donnait un sulfite insoluble comme le carbonate de chaux, mais plus facile à léviger et à séparer du phosphate.

Ce dernier point n'est pas tout à fait exact, car l'acide sulfureux en dissolution agit d'une manière assez active sur les phosphates et donne naissance à une série de composés particuliers. Sa combinaison avec le phosphate tricalcique, qui se présente à l'état cristallin avec la formule $PhO^5.\ 3CaO.\ SO^2.\ 2HO$ a été étudiée par Gerland (*).

Ce chimiste a reconnu que la solution d'acide sulfureux dans l'eau ne décompose pas la plupart des phosphates, comme le font les acides forts. Elle les transforme en combinaisons solubles, lorsque le sulfite de la base est

(*) Gerland, Verhalten der schwefeligen Saüre zu phosphaten ünd ähnlichen Verbindungen. *Journal fur prak. Chem.* (2e sér.), t. IV, p. 97.

insoluble ou peu soluble. Les phosphates basiques se combinent avec 4 ou 6 molécules et les phosphates neutres avec 2 molécules d'acide sulfureux. On peut, en chassant l'acide sulfureux de ces dissolutions, en retirer le phosphate primitif, ou bibasique, ou monobasique, suivant les conditions dans lesquelles on opère, mais l'acide phosphorique n'est pas mis en liberté.

En ce qui concerne plus particulièrement le phosphate de chaux, le phosphate tricalcique se dissout assez facilement dans l'acide sulfureux. La dissolution concentrée se décompose à une température dépassant 18° et il se forme du phosphate à 2 et 1 équivalent en même temps que du sulfite de chaux.

Gerland avait pensé, dès 1864, à appliquer cette réaction au traitement des phosphates. Son but était, à l'époque, de dissoudre du phosphate tricalcique des os, en vue de leur traitement pour la fabrication du phosphore. Les difficultés qui avaient été rencontrées tenaient à la facilité avec laquelle la solution aqueuse d'acide sulfureux se transforme en acide sulfurique, et la perte de phosphate qui en est la conséquence avait fait abandonner le procédé.

Procédés Lhôte, Pellet, etc. — Lhôte a proposé de traiter la craie grise par l'acide chlorhydrique faible, de manière à n'attaquer que le calcaire et à laisser le phosphate enrichi. Cette méthode est trop coûteuse et donne un déchet important de phosphate. Mieux vaut, dans cette voie, attaquer la totalité du minerai et précipiter ensuite le phosphate par un lait de chaux. Nous avons vu que c'était le procédé adopté pour la fabrication du phosphate dit « précipité ».

Pellet dissout la chaux par la mélasse, puis carbonate la dissolution de sucrate de chaux pour régénérer le dissolvant. C'est un procédé inapplicable pour une matière

d'aussi faible valeur que le phosphate de chaux à bas titre.

Procédé Solvay. — M. Solvay a proposé un procédé de traitement très élégant, basé sur la solubilité de la chaux dans le chlorhydrate d'ammoniaque. En voici le principe :

Après calcination de la craie au four coulant, on traite la matière par une dissolution de chorhydrate d'ammoniaque. Il se forme du chlorure de calcium et l'ammoniaque est mise en liberté. Le phosphate de chaux reste complètement inattaqué.

Après filtration, on carbonate la liqueur par l'acide carbonique provenant de la calcination de la craie, la chaux est précipitée à l'état de carbonate insoluble et le chlorhydrate d'ammoniaque est régénéré pour une nouvelle opération.

Comme on le voit, on retrouve dans cette méthode les mêmes principes qui servent de base à la fabrication de la soude Solvay.

Ce procédé avait d'ailleurs été breveté, dès 1889, par M. Ch. Delahaye en collaboration avec M. Ernest Girard, qui avaient porté des craies de 30/35 de tribasique à 75 p. 100, au moyen de la réaction ci-dessus indiquée.

Malheureusement la craie de Ciply est une matière très difficile à calciner. Elle se délite et se calcine imparfaitement, ce qui fait qu'une grande partie de la chaux échappe à la dissolution et reste avec le résidu insoluble dans le chlorhydrate d'ammoniaque, ce qui abaisse le titre du phosphate enrichi. D'autre part, si on veut pousser la calcination à fond, on silicatise une partie de la chaux, ce qui produit le même résultat final, la séparation n'est pas nette. Enfin, ce procédé n'est pas applicable aux phosphates à gangue siliceuse ou argileuse.

En résumé, à ma connaissance, les procédés chimi-

ques pour l'enrichissement de la craie phosphatée n'ont pas donné de résultats suffisamment avantageux pour rendre leur adoption universelle.

Procédés mécaniques. — Les procédés mécaniques sont en fait, beaucoup plus employés. Ils sont de deux sortes : 1° lévigation et décantation; 2° classement par courant d'air.

I. — Lévigation et décantation.

Cette opération s'exécute dans une série de caissons, avec courant d'eau. Les grains de phosphate plus lourds que le calcaire restent dans les caissons de tête, le calcaire plus léger est entrainé par les eaux. On recueille des mixtes dans les compartiments intermédiaires.

A l'usine Solvay, où le lavage s'opère dans des appareils analogues aux deschlammeurs des laveries à minerai (colonne Bouchez, colonne Solvay), on traite une craie ayant la composition suivante :

$PhO^5 . 3CaO$	24,40
$CaO . CO^2$	59,54
SiO^2	4,13
$Fe^2O^3 + Al^2O^3$	6,60

On obtient deux sortes de produits :

1° Des phosphates enrichis à 55/60 propres à la fabrication des superphosphates;

2° Des mixtes à 40/45 vendus sous cette forme, ou traités pour phosphate précipité, ou repassés à la colonne Bouchez pour élever la teneur à 55/60.

A Breteuil, où on traite en grand une craie ayant la composition suivante :

$PhO^5 . CaO$	26,20
$CaO . CO^2$	62,50
SiO^2	0,73
$Al^2O^3 + Fe^2O^3$	4,29

on opère comme suit : la craie est d'abord délayée dans l'eau ; la lavée passe ensuite dans des décanteurs Chabod, sorte de tombeaux à bascule. La tête de l'appareil donne du 50/55.

On a essayé aussi les appareils Castelnau.

Somme toute, il n'y a pas de méthode type universellement adoptée pour le lavage des craies phosphatées. Tout dépend de la constitution particulière de ces matières : tel appareil qui convient sur un point, ne donne que de mauvais résultats quand on l'applique à des gisements différents.

Séchage. — Quelle que soit la méthode employée pour le lavage, il faut opérer le séchage des matières enrichies. Cette opération présente des difficultés spéciales.

Séchage sur plaques. — Le séchage sur plaques a été généralement employé dans le début et il est toujours en usage dans nombre d'usines qui n'ont pas encore renouvelé leur matériel. Ces séchoirs ne sont autre chose que des planchers dallés en fonte, chauffés par feu direct, sur lesquels les ouvriers déplacent le phosphate avec des râbles, au fur et à mesure de son séchage. Ils ont de nombreux défauts qui les font abandonner de jour en jour davantage.

Ils sont extrêmement encombrants : un séchoir à plaques pour une usine produisant 30 à 40 tonnes par 24 heures nécessite 300 à 400 mètres carrés de plaques et une équipe de six ouvriers.

L'entretien de ces plaques est coûteux.

Le travail est *malsain* à cause des poussières données par le râblage. Sa régularité peut aussi laisser à désirer, car elle est entièrement fonction du soin que les ouvriers apportent à leur travail, ce qui nécessite une surveillance spéciale.

Digitized by Google

Enfin, ils consomment beaucoup de combustible; la proportion s'élève parfois jusqu'à 12 et 15 p. 100 du poids du phosphate séché.

Ces divers inconvénients sont évités par l'emploi de séchoirs rotatifs mécaniques.

Séchoir Ruelle. — Un des plus employés est le séchoir Ruelle, dont je donne le croquis (Pl. V, *fig.* 1 à 6).

Il se compose essentiellement d'un cylindre tournant formé de deux enveloppes métalliques emboîtées l'une dans l'autre; celle qui est à l'intérieur est légèrement conique, l'autre, cylindrique, est munie des organes de transmission de mouvement et repose sur deux jeux de galets porteurs.

Les enveloppes sont garnies intérieurement de cornières en hélice qui font avancer les matières en sens contraire du courant gazeux. L'évacuation se fait dans une fosse *ad hoc* d'où les matières séchées sont reprises par un élévateur.

Le séchage s'opère au moyen de l'air chaud produit dans un foyer-calorifère placé à la partie antérieure du cylindre. Ce séchoir est économique tant comme main-d'œuvre (un seul ouvrier suffit pour assurer son alimentation) que comme combustible; la consommation de ce dernier ne dépasse pas 5 p. 100 du poids du phosphate traité.

Cette économie est due à ce que les principes d'un bon séchage sont observés dans cet appareil : chauffage méthodique en sens inverse du courant d'air chaud, récupération de la chaleur dans la gaine extérieure et surtout volume d'air chaud considérable, insufflé par un ventilateur placé à la tête du calorifère. C'est sur ce dernier point surtout qu'il convient d'insister pour avoir un séchage rapide et économique. Il faut, en un mot, diluer et évacuer la vapeur d'eau, dès qu'elle s'est for-

Digitized by Google

mée, dans le plus gros volume d'air possible et récupérer les chaleurs perdues.

Ces séchoirs rotatifs sont suivis par une chambre à poussières. Cette annexe en maçonnerie est assez vaste, son vide cube ordinairement de 10 à 20 mètres, selon la provenance des phosphates à traiter. Elle est étudiée et aménagée pour le ralentissement du courant; ce ralentissement provoque le dépôt des parties lourdes. Elle est en outre pourvue de chicanes qui brisent les courants et déterminent la chute des poussières. Ces dernières sont périodiquement extraites par des ouvertures garnies de portes installées de manière à assurer la plus grande rapidité possible à l'opération.

Dans ces conditions, à la sortie de la chambre aux poussières, le courant est exclusivement composé d'air et de vapeur à faible température; les poussières sont restées dans la chambre, ce que l'on constate en portant les regards vers le sommet de la cheminée (*).

Ces poussières retirées et ensachées, au lieu d'être absolument perdues comme autrefois, titrant quelques degrés seulement de moins que les produits ordinaires, mais ayant la finesse recherchée, sont vendues très facilement.

Mouture. — Du séchage, les phosphates doivent passer à l'atelier de mouture avant d'être livrés. On sait que les phosphates doivent être broyés à plusieurs finesses pour leurs différents emplois. Ceux qui sont destinés à la fabrication des superphosphates doivent passer au tamis de 60 à 70 de la meunerie française, c'est-à-dire 60 à 70 fils par pouce; ceux qu'on livre directement à l'agriculture, sans autre préparation, nécessitent une

(*) *Notice sur le séchoir progressif et méthodique système Émile Ruelle.* Valencienne, imprimerie Prignet.

Digitized by Google

mouture *plus fine*, afin de rendre leur assimilation plus facile ; on exige ordinairement le passage au tamis de 100 et même 120.

Pour obtenir ces résultats, on a essayé de tous les systèmes de broyeurs, mais aucun ne peut atteindre, dans une première opération, le degré de finesse voulu ; on doit donc se servir de bluteries pour recueillir les produits ayant acquis la finesse exigée et éliminer les refus, ou *pions*, assez nombreux, qui retournent aux broyeurs, ou qui sont ensachés provisoirement et traités ensuite ; dans ce cas, ils encombrent souvent le magasin. Ces opérations nécessitent une plus-value de main-d'œuvre qu'il importait d'éviter. On a employé et on emploie encore des appareils de mouture très variés. Les plus répandus sont les moulins à boulets allemands (Kugelmühle), les moulins à boulets à force centrifuge (système Morel) et enfin les meules à blé ordinaires ou une combinaison de ces divers appareils. On semble tendre à préférer le travail avec des meules spécialement disposées pour le traitement des phosphates.

Ces meules n'ont pas les inconvénients des broyeurs, ni ceux des meules verticales ou autres engins analogues ; elles n'absorbent, comme force motrice, que le frottement de l'axe dans le boîtard et celui, presque insignifiant, du pivot en acier de 30 millimètres de diamètre, enfin la résistance qu'entraine le travail des produits.

Leur excellent effet utile a été constaté dans des essais comparatifs provoqués dans différentes usines.

Les autres broyeurs, à arbres sur coussinets, absorbent tous une plus grande force motrice ; leur effet utile est donc moindre. Les frottements sont considérables, ils s'échauffent souvent faute d'un graissage continu, que la poussière paralyse, s'usent rapidement, inégalement, et motivent ainsi de nombreux arrêts et des répa-

rations relativement importantes. En outre, ils doivent absolument être précédés ou suivis de bluteries.

Durant les essais, on a constaté combien il est facile de manœuvrer les meules horizontales, dans le cas où un corps dur, de silex ou même de fer, s'introduit entre les meules. Il n'en est pas de même dans les meules verticales qui, dans le cas d'écartement pour le passage d'un corps trop dur, laissent s'écouler une quantité relativement assez grande de produits non broyés et qui sont quand même ensachés. Dès lors, si le client aperçoit un ou plusieurs sacs de phosphates irrégulièrement broyés, il refuse tout l'envoi. Il n'existe peut-être pas d'exploitant qui n'ait eu à se plaindre de ce désagrément, qui l'inscrit en perte.

L'exemple le plus frappant se trouve à l'usine de Violaines, de la Société des Phosphates de Pernes, dirigée par M. Samuel de Mollins. Cette usine livre des phosphates naturels destinés à l'agriculture. Les produits traversent le tamis 120 et l'on obtient régulièrement ce résultat en faisant passer les matières dans des meules verticales utilisées comme broyeurs préparatoires, puis en les terminant entre les meules horizontales.

Dans ces conditions, le blutage peut être évité et les produits ensachés tels quels à la sortie des meules.

II. — Classement par courant d'air.

Ce mode de traitement est appliqué à Cuesmes (Belgique) et en France.

Procédé appliqué à l'usine d'Etaves. — Je vais le décrire tel qu'il fonctionne actuellement dans les usines de la Société anonyme pour l'enrichissement des phosphates à Etaves (Aisne).

Ce procédé, purement mécanique, a été breveté par

MM. Beyer frères, avec la collaboration de M. Ernest Girard.

Voici en quoi il consiste :

La craie phosphatée brute, telle qu'elle est extraite de la carrière, tient de 30 à 37 p. 100 de tricalcique. Elle est très humide, contient généralement 15 à 18 p. 100 d'humidité et demande avant tout à être soumise au séchage. Cette opération s'exécute dans un four rotatif Ruelle, dont j'ai donné plus haut la description.

De là, la matière séchée tout venant se rend dans un appareil spécial, nommé « trombe », qui n'est autre chose qu'un ventilateur pulvérisateur à axe horizontal, lequel a pour résultat de produire, en outre de la pulvérisation, un fort courant d'air qui entraîne le nuage de matières broyées, dans un appareil spécial, sorte de tambour cylindrique de $0^m,80$ d'épaisseur et de $1^m,20$ de diamètre posé de champ dans une vaste chambre au-dessus de celle des broyeurs. Ce cylindre (détendeur) est disposé de façon à ce que le courant d'air apportant les matières en suspension arrive tangentiellement à la paroi courbe. La partie supérieure de cet appareil détendeur est garnie sur les deux tiers environ de sa longueur, d'un tamis en tissu fin (n° 140 à 208). C'est dans la disposition du détendeur que réside l'originalité du système d'enrichissement.

Dans ces conditions, il se produit un départ entre la matière la plus fine, formée principalement de carbonate de chaux, qui tamise à travers le tissu et qui se dépose dans la vaste chambre des détendeurs qui mesure $8^m \times 9^m$ de section et 7 mètres de hauteur. L'excès d'air sort par des tubulures centrales. Quant aux grains de phosphate, ils retombent à la partie inférieure du détendeur et de là se rendent automatiquement dans un deuxième élément « trombe et détendeur » où un nouveau débourbage à sec se produit. On peut, si c'est nécessaire, répéter une troisième fois l'opération ; mais, en général,

Digitized by Google

deux passages suffisent pour amener le titre à 50 ou 55 p. 100, teneur suffisante pour que le phosphate puisse servir à la fabrication du superphosphate.

Le phosphate enrichi, à sa sortie du dernier détendeur, est passé à une bluterie au tamis 80, afin de donner un produit de grosseur régulière; les refus de bluterie retournent aux trombes, de sorte qu'en définitive, on n'obtient par ce traitement que deux sortes de produits seulement, à savoir :

1° Le phosphate marchand enrichi à 50/55 p. 100 en moyenne;

2° Le calcaire dit *fin-fin* qui passe à travers les tamis, lequel ne contient guère que 15 à 16 p. 100 de phosphate tricalcique et 60 à 75 de $CaO. CO^2$. Cette matière est vendue comme succédané avantageux du marnage, son état d'extrême division facilitant l'assimilation par les végétaux des éléments constitutifs qu'elle contient.

Cette poussière fine a aussi d'autres applications industrielles spéciales à cause de sa finesse impalpable.

Le procédé dont je viens de donner la description se prête bien à l'emploi de moyens purement mécaniques pour le mouvement des matières. Aussi l'usine d'Etaves n'emploie que peu de main-d'œuvre : un chef mécanicien, deux chauffeurs et dix ouvriers suffisent pour une production journalière de 450 sacs (45^T) de produits, tant enrichis que résidus dits *fin-fin*. Elle consomme, pour cette production, environ 2.500 kilogrammes de charbon par 24 heures, y compris le combustible employé au séchage.

D'après ce que nous venons de dire, on voit que le déchet en phosphate de chaux par ce procédé est de 35 p. 100, en ne comptant que sur celui qui reste dans le produit riche. Le déchet n'est guère que de 16 p. 100, si on considère comme récupéré le phosphate qui est vendu sous forme de craie phosphatée impalpable, tandis qu'il

Digitized by Google

est en moyenne de 45 à 50 p. 100 dans les systèmes basés sur la lévigation.

II. — Scories phosphatées du convertisseur Thomas (procédé basique).

Considérations générales. — Le rapide développement de la fabrication de l'acier basique (procédé Thomas Gilchrist), dans ces dernières années, attire particulièrement l'attention.

Les conséquences en sont multiples et importantes.

Tout d'abord, ce perfectionnement va porter un nouveau coup à la fabrication du fer puddlé, passée déjà à un rang secondaire depuis la découverte de l'acier Bessemer. Le fer puddlé est appelé à céder graduellement la place au fer aciéreux ou, pour mieux dire, au fer chimiquement pur obtenu par coulée directe, au moyen du convertisseur basique; et ce, à un prix plus avantageux et avec une sécurité de fabrication incomparablement plus grande, tout en employant des minerais impurs délaissés jusqu'ici.

Le procédé basique vient à son heure. Les minerais purs, les hématites sans phosphore ni soufre, si faciles à traiter par le procédé Bessemer acide ordinaire, comme celles de Bilbao, de Mokta, s'épuisent visiblement. A Bilbao notamment, la teneur moyenne générale diminue, l'humidité augmente avec l'état terreux du « *Rubio* ». Le « *Campanile* » n'est plus qu'un souvenir. On commence à ne plus atteindre facilement la teneur de 50 p. 100 de fer considérée de tout temps comme le dernier minimum, et certains acheteurs exigent à présent des garanties pour l'analyse à la réception des chargements.

Il est certain qu'une exportation, qui se chiffre annuellement, pour Bilbao seul, par environ 4 millions de tonnes, ne peut pas, quelle que soit la richesse des amas métal-

lifères, se continuer pendant une longue série d'années sans amener un épuisement plus ou moins complet des gîtes. Il est assez difficile de fixer un terme à ces exploitations, vu l'incertitude des cubages et vu aussi les parties inconnues que l'abatage fait découvrir chaque jour; mais dans leur ensemble, il est indéniable que les symptômes d'appauvrissement de ces gîtes colossaux, précurseurs de l'épuisement futur, se font déjà sentir.

Il est donc temps que d'autres gites, laissés jusqu'à présent de côté, soit à cause de la présence du phosphore, soit à cause des difficultés des communications, soit enfin pour toute autre raison, puissent venir combler les vides qui se produiront dans la constitution des approvisionnements annuels qu'exige l'industrie sidérurgique.

La France est, on peut le dire, favorisée par les circonstances dans cette transformation des procédés de fabrication de l'acier. Les gisements de minerai pauvre oolithique et phosphoreux si développés dans le département de Meurthe-et-Moselle et dans le Luxembourg, prennent, grâce à l'extrême facilité de leur exploitation et au bon marché des combustibles sur place, une importance croissante. Nous reviendrons d'ailleurs sur ce sujet en examinant le tableau comparatif des divers pays producteurs.

Enfin, la déphosphoration de ces fontes donne naissance à une scorie basique composée en majeure partie de phosphate basique de chaux qui, après broyage, est appliquée sur des terrains et dans des conditions bien définis aujourd'hui. Cette scorie constitue un engrais phosphaté de premier ordre, d'une application facile et dont le prix modéré met l'élément phosphore à la disposition de l'agriculture à un prix inférieur de moitié environ à celui payé pour ce même élément sous forme de superphosphate soluble dans l'eau ou dans le citrate. C'est un premier pas dans la voie, d'ailleurs déjà entre-

vue auparavant, de l'emploi direct et de l'assimilation directe aussi par les plantes de l'acide phosphorique non soluble dans le citrate d'ammoniaque, réactif conventionnel considéré jusqu'à présent comme fixant la cote commerciale d'un phosphate déterminé.

Nous verrons, d'autre part, que le bénéfice provenant pour les aciéries, de la vente de ce sous-produit, est très important, même aux prix actuels des phosphates, cours qui sont pourtant considérés comme représentant l'extrême limite de baisse de prix.

Il résulte de cet ensemble de faits qu'un nouveau classement des grands centres de production du fer et de l'acier doux va se produire. En même temps, des gisements de minerai de fer laissés de côté jusqu'à présent vont entrer en ligne de compte : enfin certains pays se trouveront plus spécialement favorisés par cette réunion de circonstances nouvelles.

Examinons rapidement ces nouvelles conditions de l'industrie du fer et de l'acier :

Production des fontes phosphoreuses.

Minerais.

1° *En France.* — D'une façon générale, on peut dire que la France jouit d'une position exceptionnellement favorable au point de vue de la fabrication des fontes phosphoreuses. Nous possédons, en effet, en Meurthe-et-Moselle des gisements pratiquement inépuisables, à proximité des charbonnages belges et allemands.

Gisements de Meurthe-et-Moselle. — Les minerais oolithiques qui constituent le plus beau gisement métallifère que possède la France, s'étend de Nancy à Longwy sur une longueur de plus de 100 kilomètres, formant une bande souterraine d'une largeur moyenne d'une vingtaine de kilomètres, qui se termine en biseau à l'ouest, dans

le département de la Meuse, empiète à l'est sur l'Alsace-Lorraine et se prolonge au nord dans le grand-duché de Luxembourg. Le minerai se trouve dans la partie supérieure du lias, à la base de l'oolithe inférieure. La gangue, toujours ferrugineuse, est un mélange en proportions variables de sable, d'argile et de calcaire, ce qui permet de combiner les lits de fusion. Les minerais siliceux, plus friables, sont aussi plus riches en fer ; leur teneur s'élève à 32 ou 33 p. 100 en moyenne. Les minerais calcaires ne dépassent guère 30 p. 100 : on les emploie comme fondants, même au-dessous de cette limite ; ils servent alors à introduire du phosphore dans le lit de fusion. La teneur en phosphore de ces minerais varie entre 0,20 et 1 p. 100, dont la presque totalité passe dans la fonte.

On divise la formation du minerai oolithique de Meurthe-et-Moselle en deux parties : inférieure et supérieure.

Le minerai inférieur est considéré comme appartenant encore au lias. Il est formé par de petites oolithes noyées dans une gangue ocreuse. Il forme de un à quatre bancs de 2 à 3 mètres d'épaisseur et séparés les uns des autres par des marnes. Aux environs de Longwy, il constitue un plateau et peut s'exploiter à ciel ouvert, tandis que dans les environs de Nancy, les affleurements de minerai sont recouverts par les éboulis de l'étage supérieur appartenant à l'oolithe inférieure, qui forment un plateau caillouteux, souvent boisé, au-dessous duquel s'enfoncent les couches de minerai.

Le minerai, fortement oolithique, qui se trouve au-dessus de ces premières couches appartient déjà à l'oolithe supérieure ; il existe surtout dans l'arrondissement de Briey, à Marbache, à Champigneulles, aux minières abandonnées de Malzéville et de Lay-Saint-Christophe (*).

(*) *Les grandes industries minérales en Lorraine*, par Ch. Durand, p. 17. Nancy, 1893.

Le quantité de minerai de fer exploitée dans le département de Meurthe-et-Moselle dépasse 3 millions de tonnes par an. A elle seule cette extraction représente près de 85 p. 100 de l'extraction totale de la France.

Ce mouvement va s'accentuer encore. Par suite de la chute dans le domaine public des brevets de déphosphoration (*), il se prépare en ce moment trois nouveaux ateliers de déphosphoration, dont l'un aux importantes usines de Pompey.

La tendance est de plus en plus à concentrer la production des fontes phosphoreuses sur place et à expédier ces fontes aux aciéries de déphosphoration existant soit sur place, soit plus éloignées, comme le Creusot par exemple, qui par sa position même n'est pas en mesure d'obtenir économiquement, dans ses propres usines, ses fontes ordinaires et n'a d'intérêt à produire que des fontes de qualité spéciale, en vue de fabrications déterminées.

District de Caen. — Les mines de fer de Saint-Rémy ont été mises en exploitation en 1876, aussitôt après l'ouverture de la ligne de Caen à Laval. La production, très vivement poussée, atteint actuellement le chiffre d'environ 100.000 tonnes par année (**).

Les mines de fer de Saint-André, ouvertes seulement en 1892, vont atteindre cette année une production de 10.000 à 12.000 tonnes.

État géologique. — Le gisement de Saint-Rémy est constitué par une couche unique d'hématite rouge, dure

(*) Les brevets Thomas Gilchrist sont tombés dans le domaine public à la fin de 1893 pour l'Allemagne et la Belgique et dans les premiers mois de 1894 pour la France.

(**) Caen et le Calvados, 23e session de l'Association française pour l'avancement des sciences, août 1894.

et compacte, dans le terrain silurien. Sa puissance à peu près constante est de $2^m,50$, et sa direction générale Est-Ouest. La couche, reconnue à de grandes distances au Nord-Est et au Sud-Ouest, a subi, en même temps que les strates siluriennes entre lesquelles elle est intercalée, de fortes pressions, suivant un sens perpendiculaire à sa direction. Il en résulte la formation de plis répétés, qui fractionnent la couche en autant de bandes. Le pendage présente par suite des irrégularités qui n'influent en rien sur la puissance ni sur la qualité de la couche unique.

Le gisement de Saint-André est sensiblement semblable à celui de Saint-Rémy, au point de vue géologique, sans toutefois avoir sa puissance ; jusqu'ici, il n'a pas été possible de reconnaître si ce gisement se continuait à de grandes distances.

Composition du minerai. — Les minerais de Saint-Rémy et de Saint-André sont surtout appréciés pour leur teneur élevée, la constance de leur composition, leur facilité de fusion et, enfin, l'absence de soufre.

La teneur moyenne des livraisons a été de 54 p. 100 en fer métallique, et leur composition peut être exprimée comme suit :

Humidité	1,17
Perte à la calcination	5,41
Peroxyde de fer	77,80
Peroxyde de manganèse	0,43
Chaux	0,54
Silice	8,08
Alumine	6,48
Acide phosphorique	0,09
	100,00

Ces minerais sont employés pour 30.000 tonnes environ dans les usines du nord de la France ; le solde, soit environ 90.000 tonnes, est expédié, par la voie du port

de Caen, en Allemagne et en Angleterre, où, grâce à de longs et persévérants efforts, il trouve maintenant un débouché facile.

Ces exploitations ont donné au port de Caen un essor considérable, qui ne peut que s'accroître chaque année, si les travaux en perspective sont réalisés à brève échéance.

On peut citer comme gisements analogues à ceux de Saint-Rémy, les mines de Diélette, dans les mêmes parages, dont l'exploitation est suspendue par suite des difficultés de l'épuisement; les mines de Segré, constituées aussi par des couches interstratifiées dans le silurien, et les gites de Krivoï-Rog en Russie.

2° *Allemagne et Belgique.* — L'Allemagne et surtout la Belgique emploient les mêmes minerais que ceux de Meurthe-et-Moselle, dont on retrouve le prolongement dans le Luxembourg et en Lorraine allemande. On annonce notamment, dans cette dernière région, la découverte de gisements plus riches que la moyenne, tenant jusqu'à 40 p. 100 de fer, reconnus sur de vastes surfaces. L'exploitation doit d'ailleurs être faite par travaux souterrains, tandis qu'aux environs de Longwy elle se fait presque partout à ciel ouvert.

Ces minerais, qui n'ont à supporter qu'un transport de 4 francs par tonne pour se rendre dans le bassin de Liège, alimentent les usines d'Ougrée, de Sclessin. Leur prix de revient ne dépasse pas, tous frais payés, 6f,25 à 6f,50 la tonne pour du minerai à 30/32 p. 100 de fer rendu au haut-fourneau.

Usines du bassin de la Ruhr. — Pour le bassin de la Ruhr, la situation est un peu différente, en ce sens que les transports, qui sont plus coûteux, grèvent ces minerais pauvres de frais tels que, ajoutés à la dépense plus

forte de combustible qu'exige leur fusion, ils permettent aux minerais phosphoreux plus riches en fer d'origine étrangère, de venir lutter avec succès contre eux.

Port de Rotterdam. — Il faut dire aussi que les transports par eau de Rotterdam, port d'arrivée des minerais de fer destinés aux usines du bassin de la Ruhr, sont d'un bon marché inouï. On a créé pour ces transports un matériel spécial de grands chalands en fer, de 800 et même 1.000 tonnes de portée, qui reçoivent directement les minerais des steamers importateurs et les apportent à l'usine. En ce moment, les frets pour minerais de fer, de Rotterdam à Ruhrort, se traitent à 1f,60 les 1.000 kilogrammes, pour une distance à franchir d'environ 250 kilomètres.

Batellerie sur le Rhin. — Ce progrès est dû en partie aux conditions exceptionnellement favorables que présente pour la navigation fluviale toute la partie basse de l'estuaire du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut, mais il ne faut pas perdre de vue qu'il est dû surtout au renouvellement et à la transformation complète du matériel flottant qui circule sur ces voies navigables. On renonce de plus en plus aux lourdes péniches de faible tonnage, pour construire des chalands en fer ayant, à tirant d'eau égal, des tonnages doubles ou triples des anciens types, avec des formes plus marines facilitant la traction sur canal et en rivière. Il est très fâcheux que la majeure partie de notre réseau de canaux français ne se prête pas, notamment pour le passage des écluses, à la circulation d'un pareil matériel. C'est là une cause d'infériorité très réelle de nos tarifs par eau, comparés à ceux de nos voisins. Sur les canaux où ce matériel peut être employé, on voit les frets s'abaisser énormément. C'est ainsi que les transports par eau d'Anvers à Paris, se cotent suivant la saison entre 6 et 9 francs par tonne, soit à peu près à 50

Digitized by Google

p. 100 au-dessus des tarifs réduits dont j'ai donné plus haut un exemple, et cependant, même dans ces conditions, les frets par eau d'Anvers à Paris sont la moitié du prix du transport par rails. On voit les différences que peuvent produire de bonnes organisations de transport par canaux.

3° *Suède. Gisements de Gelliwara.* — Par Rotterdam, les usines allemandes reçoivent des minerais phosphoreux de diverses provenances.

Il faut citer en première ligne les minerais de Gelliwara (Laponie suédoise).

L'augmentation de production dans ce district a suivi de près la construction et l'achèvement (au début de 1892) du chemin de fer établi par le gouvernement suédois dans le but de réunir ces mines au port d'embarquement.

Voici le tableau des exportations de minerai de fer de la Suède dans ces dernières années :

ANNÉES	TONNAGE EXPORTÉ
	tonnes.
1890	940.000
1891	985.000
1892	1.291.000
1893	1.640.000

L'augmentation est due à l'ouverture des chemins de fer de Gelliwara et à la création d'un marché pour ces minerais en Allemagne et en Angleterre. Ils ont une teneur élevée en fer, 56 à 58 p. 100, mais ils sont un peu faibles comme phosphore, vu surtout leur richesse en fer (Ph. = 0,60 p. 100).

4° *Angleterre. Production du minerai de fer en Angleterre* (*). — Depuis quelques années l'extraction du minerai de fer a considérablement diminué, notamment celle

(*) *Comité des Forges de France*, Bulletin n° 863.

Digitized by Google

du minerai oolithique du Cleveland, par suite de la préférence que l'on donne aux minerais plus riches et plus purs importés du continent, surtout de la région de Bilbao.

Depuis 1880 l'extraction des minerais du Royaume-Uni est tombée de 18.000.000 de tonnes à 11.000.000. En même temps la consommation qui était de 20.500.000 tonnes en 1880, n'était plus que de 15.000.000 de tonnes en 1892, ce qui revient à dire que la quantité des minerais importés en Grande-Bretagne est passée dans ce même laps de temps d'un peu moins de 2.500 000 à 4.500.000 tonnes; les minerais importés représentaient en 1880 : 12 $^{1}/_{2}$ p. 100, et en 1892 : 25 p. 100 de la consommation totale.

Il convient de faire observer que la production de la fonte n'a pas baissé dans une proportion correspondante à celle des minerais consommés, car les minerais importés, notamment ceux qui viennent d'Espagne, étant beaucoup plus riches, permettent avec un poids moindre de minerai d'obtenir une même quantité de fonte.

Le tableau suivant donne, *en milliers de tonnes*, la production, l'importation et la consommation de la Grande-Bretagne pour différentes années de la période de 1875 à 1893:

ANNÉES	PRODUCTION anglaise	IMPORTATION	CONSOMMATION totale	POURCENTAGE de la consommation totale représentée par les quantités importées
1875	16.074	465	16.539	2,81
1880	18.134	2.676	21.690	12,74
1885	15.510	2.862	18.526	15,4
1890	14.001	4.543	18.547	24,5
1892	11.494	2.838	15.232	25,2
1893	11.382	4.131	15.513	26,6

Digitized by Google

Ce tableau montre que la proportion de minerais importés n'avait jamais été aussi grande qu'en 1893. Cela tient beaucoup aux prix peu élevés auxquels on a offert ces minerais. Près de 90 p. 100 de la quantité importée provient d'Espagne dont la valeur moyenne des minerais a été, en 1893, de 15 fr. 99 cent. par tonne, rendue franco, ports anglais.

Une Compagnie anglaise a entrepris le transport en Angleterre des minerais des mines de Pedrosa, près de Séville. On a également décidé l'expédition de grandes quantités de minerais d'Almeria et on a résolu de pousser d'ici peu, avec plus d'activité, l'exploitation de quelques mines du sud de l'Espagne. L'attention est attirée aussi sur les minerais de Gelliwara dans la Laponie suédoise, qui ont donné lieu depuis quelques années à d'importantes exportations, notamment en Allemagne, comme je l'ai dit plus haut.

Les deux tableaux suivants permettent de se rendre compte de la marche de l'extraction du minerai en Angleterre : le premier concerne le Cleveland, l'Écosse, le Cumberland, le Lancashire et le sud du Pays de Galles; le second : la production des districts secondaires tels que le Lincolnshire, le Northamptonshire, le Derbyshire, le Notts et Leicester, le Staffordshire nord et sud et le Yorkshire sud et ouest; on remarque que la production des minerais de fer du Cleveland de 1883 à 1892 est tombée de 6.864.000 tonnes à 5.497.000 tonnes, celle de l'Écosse de 2.293.000 tonnes à 886.000 tonnes; que celle du Cumberland a été plus ou moins stationnaire, que celle du Lancashire a baissé, que la Galles du Sud, bien qu'occupant le quatrième rang parmi les districts du royaume producteur de la fonte, a arrêté l'exploitation de ses mines; que le Lincolnshire et le Northamptonshire ont cessé d'accroître, comme par le passé, leur exploitation, ainsi que le Nord-Staffordshire, et enfin que

Digitized by Google

le Derbyshire, le South-Staffordshire et le South et l'Ouest-Yorkshire extraient bien moins de minerai que par le passé. L'Angleterre qui, il y a encore quelques années, était considérée comme un pays éminemment riche en minerai, a été de beaucoup dépassée par les États-Unis et l'Allemagne.

Quantités de minerai de fer extrait dans les principaux districts anglais, de 1880 à 1892.
(En milliers de tonnes de 1.000 kilogrammes.)

ANNÉES	CLEVELAND	ÉCOSSE	CUMBERLAND	LANCASHIRE	GALLES DU SUD
1880	6.602	2.706	1.515	1.304	318
1883	6.864	2.293	1.592	1.395	140
1884	6.148	1.915	1.381	1.257	91
1885	6.027	1.867	1.248	1.229	63
1886	5.456	1.531	1.281	1.235	60
1887	5.059	1.343	1.504	1.111	63
1888	5.482	1.257	1.599	1.124	57
1889	5.747	1.079	1.619	1.038	53
1890	5.700	1.003	1.454	983	50
1891	5.210	760	1.431	994	40
1892	5.497	886	1.378	858	47

5° *Espagne.* — Avant de terminer cette revue rapide des gisements de minerais de fer utilisables pour le traitement par le procédé basique, je dirai quelques mots des minerais de fer dévoniens des Asturies, que j'ai étudiés au cours d'un récent séjour dans cette région encore peu connue de l'Espagne.

Minerais de fer Asturiens. — Ces minerais n'ont été jusqu'à présent l'objet que d'une exploitation des plus restreintes, malgré leur facile extraction, leur bas prix de revient et leur proximité de la mer. Cette situation tient à un ensemble de circonstances que je vais passer rapidement en revue.

Industrie métallurgique actuelle en Asturies. — En premier lieu, leur composition même ne permet de les

Digitized by Google

traiter que par le procédé basique. Or, l'industrie métallurgique des Asturies ne comporte actuellement que trois centres, à savoir :

1° La fabrique de Miérès, située sur la ligne de Gijon à Léon, à 47 kilomètres de la mer. Cette fabrique, qui exploite les mines et usines qui appartenaient autrefois à la Société de Santander et Quiros, possède des hauts-fourneaux de petites dimensions, fondant des minerais de Bilbao mélangés d'une faible proportion de minerais dévoniens phosphoreux.

La fonte brute qu'ils produisent est partiellement transformée en fer puddlé, le reste sert comme fonte de deuxième fusion. Il n'existe pas de convertisseur Bessemer.

2° Aciérie Duro et C^ie^ à la Felguera. Même formule de traitement que Miérès : minerai de Bilbao avec 1/5 ou 1/4 de minerai dévonien et un peu de minerai magnétique, très fusible, de l'ouest de la province (Tapia).

L'acier est produit sur sole Martin neutre, garnissage en fer chromé. Il n'existe pas de convertisseur Bessemer.

L'usine produit surtout des aciers profilés ou des tôles d'acier doux très recherchées et vendues très cher.

3° Usine Moreda à Gijon : un petit haut-fourneau de construction récente avec récupérateur Cowper-Siemens.

La fonte est puddlée dans la même usine, qui fait principalement les profilés de petites dimensions; elle a une tréfilerie bien organisée.

Elle n'emploie que du Bilbao pour ses fers de qualité.

L'ensemble de la consommation locale des minerais dévoniens n'a pas dépassé 40.000 tonnes en 1893.

Composition des minerais dévoniens des Asturies. — Ces minerais ont la composition moyenne suivante :

Digitized by Google

	Pour 100.	
Peroxyde de fer	72 à 73	= 51 à 52 p. 100 fer métallique.
Silice	16 à 14	
Alumine	3 à 2	
Chaux.	0,50 à 0,50	
Oxyde rouge de manganèse. .	0,10 à 0,15	
Acide phosphorique	1,40 à 1,50	= phosphore 0,60 à 0,70 p. 100.
Arsenic, cuivre, etc.	traces.	

La perte au feu varie de 5 à 6 p. 100.

L'humidité est faible, ces minerais étant très rocheux et le fer s'y trouvant à l'état de peroxyde anhydre. Elle ne dépasse pas 1 à 1,5 p. 100.

La proportion de menu passant à travers un crible à trous ronds de 2 centimètres de diamètre ne dépasse pas 10 p. 100.

Une autre raison majeure qui s'est opposée jusqu'à présent à l'exploitation de ces minerais, est la cherté des transports par rails.

Enfin, il n'y avait pas de port convenable permettant d'embarquer rapidement ces minerais sur des vapeurs de 15 à 1.800 tonnes. Le port de Gijon, comme je l'ai dit plus haut, ne peut guère recevoir que des petits vapeurs de 7 à 800 tonnes qui s'échouent à chaque marée faute de fond le long des quais. De plus, l'entrée du port est difficile à prendre à cause des nombreux récifs qui l'avoisinent.

Mode de gisement. — Les minerais de fer forment une série de couches interstratifiées dans le terrain dévonien moyen, constitué principalement par des alternances de schistes et de quartzites.

On distingue deux groupes de couches, à savoir :

Le groupe de Llaneres;

Le groupe de Candas.

Dans chacun de ces groupes, les minerais de fer constituent un faisceau régulier contenant de 5 à 6 couches, suivant les points, avec des épaisseurs variant de 1 mètre à 3 mètres.

Le minerai est généralement plus siliceux lorsque les couches encaissantes sont du quartzite que lorsque ce sont des schistes qui forment le contact. Il y a donc relation entre la nature des épontes et la composition du minerai. Ce point est important à noter.

Les couches de minerai de fer se montrent en un très grand nombre de points, mais une étude attentive montre qu'elles se réduisent aux deux groupes ci-dessus mentionnés, de sorte qu'une coupe générale du terrain dévonien moyen des Asturies présente le profil indiqué Pl. II, *fig.* 10.

Pour mieux fixer les idées, j'ai figuré sur un croquis la disposition des couches de minerai dans toute la région du Cap Peñas, entre Gijon et Avilés, ainsi que dans les environs de cette dernière ville (voir Pl. III, *fig.* 5).

Prix de revient. — Le prix de revient de ces minerais rendus à Avilés ou Gijon peut être estimé à 7 pesetas, soit environ, au change actuel (décembre 1894), à 6 francs la tonne de 1.000 kilogrammes.

Emploi de ces minerais. — La difficulté du traitement de ces minerais tient à leur teneur assez forte en silice (15 à 16 p. 100), qui permettrait difficilement de les traiter par la formule du procédé basique proprement dit. Nous verrons plus loin qu'il faut, autant que possible, ne pas dépasser une teneur en silicium de 1 p. 100 dans la fonte, sous peine de consommer trop de garnissages et il convient pour cela que le lit de fusion soit peu siliceux. Il serait très probablement nécessaire, pour obtenir des fontes phosphoreuses convenables, avec des minerais asturiens, d'adopter pour ces fontes un traitement plutôt neutre que basique. Malgré cette teneur

Digitized by Google

élevée en silice, ces minerais sont aisément fusibles, une partie de cette silice étant combinée au fer.

Ils méritent néanmoins d'être étudiés non seulement en vue de leur exportation en Allemagne et en Angleterre, rendue possible par suite de l'ouverture du port d'Avilès, mais surtout en vue de leur fusion sur place, qui sera singulièrement facilitée par le bon marché des charbons et des cokes asturiens.

Mode de traitement des minerais phosphoreux. — Après ce rapide coup d'œil jeté sur les divers gisements de minerais phosphoreux, examinons maintenant le mode de traitement des minerais phosphoreux et les conditions que doit réunir la fonte de première fusion pour donner des résultats satisfaisants à la déphosphoration.

Teneur en phosphore. — La proportion la plus favorable de phosphore dans la fonte destinée au traitement par le convertisseur basique est de 1,5 à 2,5 p. 100, équivalant à une proportion de 2,74 à 5,62 p. 100 d'acide phosphorique. Il est facile dès lors de se rendre compte de la teneur minima en phosphore qu'un minerai d'une teneur déterminée en fer doit contenir pour donner une fonte facile à traiter.

Considérons, par exemple, un minerai tenant, comme certains minerais de fer oligiste compacts d'Espagne (minerai violet riche des Asturies) :

Peroxyde de fer.	78,860	= 55,20 fer métallique.
Silice.	10,000	
Alumine.	2,900	
Chaux	0,980	
Acide phosphorique.	1,225	= 0,535 phosphore.
Soufre	0,009	
Oxyde de cuivre et zinc. . .	néant	
Perte au feu, eau combinée.	5,910	
	99,804	

Digitized by Google

Ce minerai, en admettant qu'il ne soit apporté de phosphore ni par la castine, ni par le combustible, donnera une fonte tenant au maximum 2,70 environ d'acide phosphorique (Voir le tableau de la page 182). Ce minerai fondu seul serait à la limite inférieure d'utilisation. Mais en réalité on peut traiter des minerais encore moins phosphoreux que ce type soit en les mélangeant avec des minerais notablement plus riches en phosphore, par exemple avec certaines oolithes à gangue calcaire, tenant, pour 30 p. 100 de fer, jusqu'à 1 p. 100 de phosphore, soit avec des scories de puddlage riches en phosphore. On emploie aussi des combustibles de qualité inférieure dans les cendres desquels le phosphore est loin d'être une gêne. Enfin on a commencé, notamment à Ruhrort, à employer comme castine, des craies phosphatées qui viennent enrichir la fonte en phosphore. Ces essais, qui ne sont qu'à leur début, ont présenté quelque difficulté à cause de la propriété spéciale que possède la craie grise de se déliter rapidement après son extraction et de se réduire en bouillie quand elle a été exposée à l'air et à la pluie. Quoi qu'il en soit, il est facile, en disposant comme c'est le cas pour la plupart des usines de la Ruhr, d'une variété suffisante de minerais, de fondants et de scories de puddlage, d'arriver pour la fonte de première fusion à la teneur en phosphore requise pour assurer la bonne marche du traitement ultérieur de déphosphoration.

Néanmoins les minerais médiocrement phosphoreux restent moins recherchés que ceux qui tiennent jusqu'à 2 et 3 p. 100 de phosphore : ces derniers, surtout s'ils sont riches en fer, sont demandés de préférence, ne fût-ce que pour permettre d'introduire dans le lit de fusion une plus forte proportion de minerais moins phosphoreux.

Il est donc vrai de dire que le phosphore, jadis si re-

Digitized by Google

douté dans les minerais de fer, *y fait prime* aujourd'hui.

En tout cas, on demande que ces minerais phosphoreux ne contiennent pas de soufre.

On peut poser en principe, comme conclusion de ce qui est relatif à la teneur en phosphore des fontes à traiter au convertisseur basique, qu'il faut se tenir entre les limites de 1,70 à 2,50 de phosphore, suivant que le haut-fourneau marchera avec ou sans scories de puddlage.

Teneur en silicium. — On cherche à ne pas dépasser une teneur de 1 p. 100 de silicium dans la fonte, en vue surtout de ne pas user trop vite les garnissages.

Cette question des garnissages basiques est en effet le point capital de la déphosphoration par le convertisseur Thomas. Les débuts de ce procédé en Allemagne ont été rendus lents et pénibles par suite de la difficulté qu'on éprouvait à obtenir des garnissages basiques ayant une durée suffisante et pas trop coûteux.

Garnissages basiques. — On remplirait un ouvrage si on voulait relater pas à pas la série des essais qui ont été exécutés, parfois à grands frais, pour arriver à obtenir un garnissage ou revêtement basique de la cornue, à la fois solide et économique. Chaux, alumine, magnésie, dolomie, fer chromé, en briques crues ou en briques cuites, en pisé, en mortier, etc., ont été longuement essayés. Ce sont les usines de Ruhrort qui ont les premières appliqué la méthode, universellement adoptée aujourd'hui, qui consiste à faire le revêtement en *briques non cuites de dolomie calcinée préalablement* et mélangée avec une quantité de goudron, *soigneusement déshydraté*, suffisante pour assurer *à froid* la cohésion des briques fabriquées par une presse hydraulique puissante. On chauffe ensuite la cornue pour distiller le

Digitized by Google

goudron et cokifier la masse. On ajoute d'ailleurs dans la cornue, à chaque opération, une quantité de chaux vive récemment fabriquée représentant environ, pour une fonte à 1 p. 100 de silicium par exemple, 12 p. 100 du poids de la charge. Cette addition a pour but d'économiser l'usure des parois basiques.

La préparation et le frittage de la dolomie destinée à la fabrication des briques, l'emploi spécial du cubilot pour cette opération et une foule d'autres détails et tours de main qui constituent la plus grande difficulté pratique à vaincre pour bien réussir les garnissages, ne peuvent pas être décrits ici, et je me contente d'en indiquer l'importance.

Revenons à la question de la teneur initiale en silicium des fontes à déphosphorer. On peut traiter des fontes à moins de 1 p. 100, à 0,70 par exemple, même en deuxième fusion. Mais il faut alors employer pour cette opération du coke de première qualité pour bien chauffer la fonte et augmenter en même temps la proportion de manganèse au delà de 2 p. 100 pour donner du combustible à la masse.

Manganèse. — La teneur en manganèse est donc, comme on le voit, fonction de celle en silicium.

Avec une fonte grise très fortement truitée, tenant 1,75 à 2 p. 100 de manganèse, 1 p. 100 de silicium et 1,70 de phosphore, on sera dans de bonnes conditions pour une marche normale en première fusion.

Avec 2,30 de phosphore, 0,70 de silicium et 1,80 à 2 p. 100 de manganèse, on sera en mesure d'opérer sans difficulté la déphosphoration en deuxième fusion.

Carbone. — Il n'y a aucun inconvénient à avoir une forte teneur en carbone dans la fonte, à pousser même jusqu'à la fonte avec graphite, surtout si on a comme but la fabrication d'un acier doux.

Digitized by Google

La présence du graphite dans la fonte, aussi bien dans le procédé basique que dans la cornue Bessemer ordinaire, accroît la qualité de l'acier. Des fontes de ce genre laissent bien passer le vent et économisent le garnissage.

Soufre. — En première fusion on doit se tenir pour le soufre, au-dessous de 0,1 p. 100. Quant à la limite de tolérance dans l'acier, elle dépend des usages auxquels il est destiné et il ne peut pas être posé de règle précise à ce sujet.

Nature de l'acier basique. — Un bon acier déphosphoré extra-doux, doit donner couramment les caractéristiques suivantes :

Allongement	26 à 29 p. 100.
Limite élastique	25 kilogr.
Charge de rupture	45 à 48 kilogr.

Scories de déphosphoration. — Voici, d'après Fleicher (*), un tableau qui donne, pour des teneurs en acide phosphorique du lit de fusion, allant depuis zéro jusqu'à 3 p. 100 :

1° Les teneurs correspondantes de la fonte ;

2° Celles de la scorie basique obtenue par le traitement de cette fonte.

(*) *Entphosphorung des Eisens durch den Thomas-Prozess und ihre Bedeutung für die Landwirthschaft.* Berlin, 1886.

TENEUR de la charge		TENEUR EN PhO^5 de la fonte			TENEUR EN PhO^5 de la scorie		
en Ph p. 100	en PhO^5 p. 100	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne
0,109	0,25	0,55	0,20	0,37	3,70	1,84	2,77
0,218	0,50	1,10	0,41	0,75	7,50	3,73	5,74
0,327	0,75	1,65	0,62	1,13	11,30	5,62	8,46
0,436	1,00	2,20	0,83	1,51	15,10	7,51	11,30
0,545	1,25	2,75	1,03	1,89	18,90	9,41	14,15
0,654	1,50	3,30	1,24	2,27	22,70	11,30	17,00
0,763	1,75	3,85	1,45	2,65	26,50	13,19	19,84
0,872	2,00	4,40	1,66	3,03	30,30	15,08	22,69
0,981	2,25	4,95	1,86	3,40	34,00	16,93	25,46
1,090	2,50	5,50	2,07	3,78	37,80	18,83	28,31
1,199	2,75	6,05	2,28	4,16	41,60	20,71	31,15
1,308	3,00	6,60	2,49	4,54	45,40	22,60	34,00

Il résulte de ce tableau que, pour obtenir en moyenne une teneur de 15 à 17 p. 100 d'acide phosphorique dans la scorie, il faut avoir un lit de fusion contenant de 0,654 à 0,763 de phosphore.

D'après M. Moreau (*), la fonte Thomas des usines de Witkowitz en Bohême, contenant 2,10 p. 100 de phosphore (équivalent à 4,80 de PhO^5) produit une scorie à 27,35 p. 100 d'acide phosphorique. On a donc dans ce cas, comme rapport entre l'acide phosphorique de la scorie à celui de la fonte, le chiffre de : $\frac{27.35}{4.80} = 5{,}70$.

Dans les usines allemandes, ce rapport de concentration est plus élevé.

Aux usines de Rothe Erde, à Aix-la-Chapelle, il est de 9,3.

Aux aciéries de Ruhrort, il est de 8,75.

Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'obtenir des scories trop riches en acide phosphorique, tenant 22 ou 25 p. 100 ; elles ne jouissent pas comme engrais phosphaté d'une surprime équivalente à leur teneur, elles paraissent même, prétend-on, moins facilement assimilables par les

(*) *Génie civil*, août 1881.

Digitized by Google

végétaux que les scories à 16 p. 100 qui constituent le type couramment adopté (*).

Nous reviendrons d'ailleurs sur ce point en traitant la question de l'utilisation de ces matières.

Voici diverses analyses de ces scories indiquant leur composition :

	I	II	III
Acide phosphorique	17	19,02	21,37
Chaux	50	49,90 (1)	45,26 (2)
Magnésie	4	3,40	5,90
Oxyde de manganèse	5	5,24	5,56
Alumine	2	1,10	4,01
Protoxyde de fer	14	8,06	12,00
Silice	8	8,20	5,10
Soude et potasse	»	»	0,80
Soufre	traces	0,60	»
	100	100,66	100,00

(1) Dont 11 p. 100 à l'état de chaux caustique.
(2) Dont 9,80 p. 100 id. id.

I. Scorie de Meurthe-et-Moselle.
II. Scorie des aciéries allemandes.
III. Scorie de l'usine de Pottstown (États-Unis).

Ces scories sont donc essentiellement composées d'un mélange de phosphate basique de chaux avec du silicate de chaux et un excès assez notable de chaux caustique. Nous verrons plus loin que c'est d'un tétraphosphate qu'il s'agit.

(*) Il y a plutôt lieu de croire que la cause de cette préférence pour les scories moyennement riches tient à une question de *volume minimum nécessaire* de l'engrais à appliquer. Il faut, en effet, que la matière fertilisante soit répartie dans une masse suffisante pour permettre un épandage facile. C'est cette même raison qui empêche l'emploi des superphosphates très riches à 40 p. 100 d'acide phosphorique, qu'on produit actuellement avec facilité, mais qui ne peuvent s'appliquer qu'en les diluant dans un volume convenable de matière inerte, terre, sable, etc., pour assurer leur épandage uniforme. Ces dosages, qui demandent un certain discernement, sont difficiles à faire exécuter par la clientèle agricole, qui aurait cependant un avantage incontestable, pour économiser les frais de transport, à les faire elle-même sur les lieux de consommation.

Digitized by Google

Formule de traitement d'Ougrée. — Comme conclusion des renseignements qui précèdent, je réunis ci-dessous des données complètes sur le procédé de traitement basique des usines d'Ougrée (*), telles qu'elles ressortent de la très intéressante exposition de cette société à Anvers.

Voici d'abord le tableau des analyses des diverses sortes de minerais qui constituent l'approvisionnement des hauts-fourneaux :

MATIÈRES DOSÉES	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Matières volatiles...	18,50	13,80	5,92	14,00	1,84	9,50	6,00	1,50	2,00	43,50
SiO^2..........	6,30	19,20	14,00	5,16	9,00	6,90	4,00	12,00	3,17	1,70
Al^2O^3.........	8,90	8,00	9.50	1,39	1,71	3,40	3,10	2,00	1,00	0,20
CaO..........	8,00	2,70	2,50	3,00	2,00	2,50	2,20	1,00	traces	53,00
MgO..........	0,40	0,30	1,30	traces	1,00	0,70	traces	0,40	traces	0,50
MnO..........	0,32	0,37	0,10	22,93	13,50	1,00	2,08	traces	traces	traces
Fe^2O^3 et FeO.....	56.60	54,50	64,46	49,13	70,00	75,70	82,32	80.00	92,50	0,80
S............	0,00	0,00	0,05	0,18	0,434	0,00	0,071	1,15	1,17	traces
Ph...........	0,72	0,61	0,60	0,209	0,029	0,028	0,044	0,03	0,013	0,008
Pertes.........	0,26	0,52	1,57	4,001	0,487	0,272	0,185	1,92	0,147	0,292
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	
Rendement en fonte.	41,00	40,00	48,00	48,20	56.40	55,40	61,60	58,56	67,50	»
Soufre dans la fonte.	0,00	0,00	traces	0,00	0,00	5,00	0,00	0,50	0,50	»
Ph. dans la fonte...	1,87	1,54	1,25	0,391	0,051	0,05	0,071	0,051	0,20	»

I. Limonite oolithique du grand-duché de Luxembourg.
II. Idem. de Belgique.
III. Fer oligiste (minerai violet) de Belgique.
IV. Hématite brune de Grèce (Laurium).
V. Minerai spathique calciné d'Allemagne.
VI. Hématite de Bilbao.
VII. Hématite d'Algérie.
VIII. Résidus de grillage de pyrites.
IX. Purple ore.
X. Castine.

Charbon tout venant d'Ougrée :

Soufre.....................	0,603
Phosphore..................	0,045
Cendres....................	13,800

(*) Société anonyme d'Ougrée. Exposition d'Anvers, 1894.

Digitized by Google

Ce charbon donne après classement :

Gros et gaillette au-dessus de 30 millim.	8,60 p. 100.
Grenus de 30 à 6 millim.	42,00
Fins et poussier au-dessous de 6 millim.	49,40
	100,00

Composition du coke lavé :

Soufre.	0,200
Phosphore	0,033
Cendres.	9,000

Analyse moyenne des fontes et laitiers Thomas de première fusion :

Fonte.		*Laitier.*	
Carbone	4,325	SiO^2.	32,970
Silicium.	0,400	Al^2O^3	12,440
Manganèse	2,250	CaO.	47,950
Soufre.	0,025	MgO.	1,370
Phosphore	2,300	MnO	2,260
Fer (par différence) . .	90,700	FeO.	1,470
	100,000	S	1,282
		Ph.	0,220
		Pertes.	0,038
			100,000

$$\text{Rapport } \frac{\text{oxygène silice}}{\text{oxygène bases}} \text{ du laitier} = \frac{1}{1,189}.$$

Essai des tôles d'Ougrée. — Les tôles d'acier Thomas pour constructions navales ont donné, sous le contrôle du Bureau Véritas, les résultats consignés dans le tableau suivant :

Digitized by Google

Essais de traction.

NUMÉROS d'ordre	DIMENSIONS DE LA SECTION des éprouvettes			CHARGE DE RUPTURE en kilogrammes		ALLONGEMENT en millimètres	
	Largeur	Épaisseur	Surface	Totale	Par millim. carré	Sur 200 millim.	Pour 100
				kg	kg	millim.	
1	29,9	23,5	702,65	27.300	38,85	55	27.5
2	30,0	23,5	705,00	26.600	37,73	65	33,0
3	29,9	22,8	681,72	27.400	40,19	59	29.5
4	30,3	23,9	724,17	27.500	37,97	59	29.5
5	30.0	21,7	651,00	25.600	39,32	56	28.0
6	30,0	21.7	651,00	25.400	39,00	65	32,5
7	30,3	19.6	593,88	25.600	43,10	60	30,0
8	30,0	20,0	600,00	26.300	43,83	59	29,3
9	30,2	18,4	555,68	23.100	41,57	58	29,0
10	30,1	18,3	550,83	23.300	42,30	60	30 0
11	30,2	15,6	471,12	18.800	39,90	66	33,0
12	30,2	15.6	471,12	19.600	41,60	60	30,0
13	29,7	13,8	409,86	17.400	42,45	57	28,5
14	30,0	13,7	411,00	17.600	42,82	56	28,0
15	29,7	11,4	338.58	14.200	41,94	61	30,5
16	29,7	11,4	338.58	14.400	42,53	55	27,5
17	29,8	10,1	300,98	12.600	41,73	55	27.5
18	29,7	10,2	302,91	12.500	41,26	56	28,0
19	29,7	9,4	279,18	11.600	41,55	54	27,0
20	30,0	9,3	279,00	11.400	40,82	57	28,5
21	29,7	7,9	234,63	10 500	44,75	51	25.5
22	29,7	7,7	228,69	10.000	43,72	59	29,5
23	29,7	6,1	181,17	8.000	44,15	50	25,0
24	29,7	5,8	172,26	7.500	43,53	49	24,5

Broyage des scories. — On les soumet, avant de les livrer à l'agriculture, à un broyage très complet. Cette opération est indispensable pour assurer l'assimilation de l'acide phosphorique contenu ; elle est assez coûteuse non seulement à cause du degré de finesse à atteindre (75 à 80 p. 100 du produit doivent passer au tamis 100), mais surtout à cause des grains métalliques d'acier que la scorie entraîne à la coulée et qui, venant sous les meules, y causent des désordres graves. On a essayé de couler ces scories dans l'eau, de les soumettre à un lavage ou à une séparation magnétique pour enlever les grenailles métalliques avant la mouture, mais toutes ces manœuvres augmentent notablement les frais à faire supporter au produit.

Digitized by Google

Quoi qu'il en soit, la valeur des scories phosphatées, au prix actuel de vente de ces matières, constitue un élément important de bénéfice pour les aciéries qui emploient le procédé de la cornue basique. Seules les scories basiques obtenues avec l'appareil Bessemer sont utilisables pour l'agriculture, à l'exclusion des scories obtenues au four Martin à garnissage basique.

Prix de vente. Bénéfice. — Les scories moulues tenant 16 p. 100 d'acide phosphorique se vendent actuellement sur le pied de 0f,25 l'unité (de 10 kilogrammes) d'acide phosphorique contenu, soit pour la teneur considérée, 4 francs les 100 kilogrammes sur wagon, marchandise rendue à Anvers.

On peut estimer à 8 à 9 francs par tonne les frais de mouture et de blutage et à 2 francs ceux d'ensachage, mise en magasin, commission de vente et faux frais divers, plus 4 francs de transport jusqu'au port d'embarquement. Reste net 24 francs par tonne pour la valeur à l'état brut, *loco* usine de ces matières lorsqu'elles sont livrées à l'exportation. Pour l'intérieur, les prix sont meilleurs, comme je l'explique plus loin : prenons néanmoins ce chiffre minimum comme base. On obtient en moyenne 300 kilogrammes de scorie par tonne d'acier coulé du convertisseur ; on voit que la vente de la scorie phosphatée produit une recette nette de $24 \times 0,3 = 7^{f},20$ au minimum par tonne d'acier produite. Si on ajoute à cette considération le fait que l'unité de fer se paie, dans les minerais phosphoreux, à très bon marché, soit par suite de leur facile extraction, comme c'est le cas en Meurthe-et-Moselle, soit par la défaveur dont ces minerais ont été l'objet jusqu'à présent, lorsqu'il s'agit de minerais d'importation, on voit que tout concourt à donner à la fabrication des aciers basiques un avantage incontestable sur les autres procédés.

Il ne faut pas se dissimuler cependant que cet avantage dépend en majeure partie de la possibilité de continuer à écouler dans des prix analogues à ceux actuellement pratiqués, la totalité des scories phosphatées qui sont produites et surtout qui seront produites en beaucoup plus grande quantité dans un avenir prochain.

Les apparences actuelles du marché permettent d'augurer qu'il n'y aura pas d'encombrement et que la vente des scories ne rencontrera pas d'obstacle. Il est même curieux de constater que l'accroissement énorme de ces dernières années (voir le tableau statistique de la page 192), non seulement n'a pas amené de diminution dans la demande des autres espèces d'engrais phosphatés et notamment des superphosphates, mais a coïncidé, au contraire, avec un accroissement important de la consommation de ces derniers. Il y a là une preuve indéniable de l'entrain avec lequel on entre, en Europe et plus spécialement en Allemagne, dans la voie de l'agriculture industrielle. En ce qui concerne plus particulièrement l'emploi des scories, dont les bons effets, je le répète, sont surtout applicables dans les sols siliceux, toutes les régions nord de l'empire d'Allemagne, depuis Kiel jusqu'à Hambourg, la Poméranie, la Haute et Basse-Silésie, sont, du fait même de leur constitution géologique, des clients assurés de ce genre d'engrais phosphaté.

La Suède, la Russie par le port de Riga, en reçoivent aussi depuis deux ans des quantités importantes et constamment croissantes. En ce moment (décembre 1894), il n'y a pas de stock flottant de scories basiques et certaines usines ont engagé leur production, à prix ferme, pour dix ans.

Syndicat des usines produisant les scories Thomas. — Suivant leur coutume habituelle, les producteurs de scories basiques en Allemagne ont établi un syndicat sur les bases suivantes :

Vente à l'intérieur de l'Empire *au prorata des quantités fixées pour chacun des intéressés*, d'après les prévisions de demande de la consommation, au prix de 39 à 40 francs les 1.000 kilogrammes, *pris à l'usine*. Les scories sont vendues uniquement à l'état moulu, la mouture étant faite par les syndiqués.

Vente libre au dehors, sous forme brute, des scories excédantes. Le prix actuel est de 24 francs la tonne sur wagon à l'usine, ce qui, comme nous l'avons exposé plus haut, ne laisse qu'une faible différence, déduction faite des frais de mouture, transport, sacs, etc., avec le prix de 40 francs pour le moulu rendu fr. b. Anvers, de sorte que pratiquement le syndicat empêche toute intrusion des tiers, commissionnaires ou phosphatiers, qui pourraient acheter les scories brutes, les moudre et les livrer à la clientèle.

On sait que des syndicats analogues fonctionnent en Allemagne pour les fontes et aciers, pour les cokes, et en général pour tous les produits de première nécessité. La formule est en résumé la suivante :

1° Répartition de la consommation intérieure probable entre les producteurs au prorata de leur importance respective. Fixation d'un prix de vente rémunérateur pour ce marché national.

2° Vente libre à l'exportation, en écrasant si nécessaire les cours, pour écouler la surproduction.

En vendant de la sorte, même à son prix de revient, l'industriel allemand réalise un bénéfice supplémentaire indirect sur sa part de vente à l'intérieur, puisqu'il diminue ses frais généraux qui sont répartis sur sa production totale.

C'est par l'application de ces principes que nous voyons les usines allemandes enlever à l'étranger des marchés de rails, par exemple, à des prix qui paraissent inexplicables au premier abord.

Digitized by Google

Emploi des scories. — On voit en résumé que c'est la question de consommation des scories par l'agriculture qui prime toutes les autres. Aussi, dès l'apparition de ces matières sur le marché, de nombreux efforts ont-ils été faits pour démontrer d'abord l'efficacité de ces matières comme engrais phosphaté, pour déterminer ensuite le mode d'application de cette nouvelle fumure, pour établir enfin quelles sont les natures de terrain qui se prêtent le mieux à leur emploi, en un mot, pour divulguer au sein des populations agricoles, constituant le noyau de consommateurs de ces scories, les principes permettant d'assurer la réussite de cet engrais phosphaté.

Malgré les difficultés d'une pareille entreprise, on peut dire que le succès a couronné les efforts et que l'emploi des scories basiques est dores et déjà entré dans la pratique courante des opérations agricoles.

On conçoit que cette question de vente des scories ait préoccupé les producteurs. Il suffit d'examiner les tableaux résumant la production de l'acier basique dans les principaux pays du monde pour se rendre compte de la légitimité de ces craintes.

Statistique de la production des aciers et scories basiques.

Voici ces tableaux, que j'emprunte aux *Bulletins du Comité des forges de France* (*) :

Le premier donne la production de l'acier basique, y compris l'acier sur sole, de 1878 à 1893;

Le second, la production d'acier basique au convertisseur et sur sole séparément, de 1891 à 1893.

Le tableau n° 3 donne, pour la même période, la pro-

(*) Comité des forges de France. *Bulletins* nos 595, 724 et 819.

Digitized by Google

portion d'acier contenant moins de 0,17 p. 100 de carbone dans la proportion totale.

Enfin, le n° 4 donne la liste des établissements qui, pendant le courant de l'année 1893, produisaient de l'acier basique, avec, pour la majeure partie d'entre eux, la date à partir de laquelle le procédé a été appliqué.

TABLEAU N° 1.

Production de l'acier Thomas, depuis 1878 jusqu'en 1893.

En tonnes de 1.000 kilogrammes.

ANNÉES	ANGLETERRE	ALLEMAGNE et LUXEMBOURG	AUTRICHE	FRANCE	BELGIQUE ÉTATS-UNIS et RUSSIE	TOTAL
1878	20	»	»	»	»	20
1879	1.150	1.782	»	»	»	2.932
1880	10.000	18.180	13.754	4.771	3.295	50.000
1881	46.120	200.000	54.700	10.480	24.700	336.000
1882	109.364	235.132	64.214	12.306	28.984	450.000
1883	122.380	328.909	85.593	38.229	59.262	634.373
1884	179.000	440.000	80.300	113.000	51.700	864.000
1885	145.707	548.252	69.262	130 582	51.514	945.317
1886	258.466	784.212	99.647	122.711	48 595	1.313.631
1887	435.046	1.167.702	142.409	210.301	68,613	2.024.071
1888	408.594	1.137.632	138.438	222.334	46 237	1.953.234
1889	493.919	1.305.887	175.755	222.392	76.599	2.274.552
1890	510.954	1.515.554	205.350	244.247	106 027	2.612.132
1891	442.805	1.806.176	224.530	259.232	190.700	2.923.743
1892	413.368	2.015.796	292.746	292.142	209.984	3.254.036
1893	363.782	2.382.382	320.047	368.843	261.894	3.696.918
	3.940.675	13.917.896	1 966.745	2.251 569	1.288.104	23.364.989

TABLEAU N° 2.

Production d'acier basique au convertisseur et sur sole, de 1890 à 1893.

	1890	1891	1892	1893	TOTAL POUR les 4 années
Acier au convertisseur . .	2.268.861	2.411.415	2.632.836	2.853.308	10.166.420
Acier sur sole.	373 268	512.319	621.200	843.640	2.350.427
Totaux.	2.642.129	2.923.734	3.254.036	3.696.918	12.516.847

En calculant le rendement en scories phosphatées utilisables pour l'agriculture, à raison de 300 kilogrammes

Digitized by Google

par tonne d'acier basique produite au convertisseur, on arrive aux totaux suivants pour les quatre dernières années :

ANNÉES	TONNES
1890	680.658
1891	723.000
1892	789.850
1893	856.000
Total. . .	3.049.508

On voit, somme toute, que le moment approche, s'il n'est déjà atteint pendant l'année en cours, où la déphosphoration des fontes mettra au service de l'agriculture un tonnage annuel de 1 *million de tonnes* de scories phosphatées.

TABLEAU N° 3.

Production d'acier basique à $\frac{\text{plus}}{\text{moins}}$ de 0,17 p. 100 de carbone, de 1890 à 1893.

I. — *Allemagne et Luxembourg.*

ANNÉE	PLUS DE 0,17 de carbone	MOINS DE 0,17 de carbone	TOTAL
1890	360.239	1.155.315	1 515.554
1891	471.973	1.334.503	1 806.476
1892	403.067	1.642.729	2.045.796
1893	379.303	2.003.079	2.382.382
Totaux. . . .	1.614.582	6.135.626	7.750.208

II. — *Angleterre.*

ANNÉE	PLUS DE 0,17	MOINS DE 0,17	TOTAL
1890	154 279	356.675	510.954
1891	86.725	356.080	442.805
1892	90 689	322.679	413.368
1893	65.628	298.154	363.782
Totaux. . . .	397.321	1 333.588	1.730.909

Digitized by Google

III. — *France.*

ANNÉE	PLUS DE 0,17	MOINS DE 0,17	TOTAL
1890	66.064	178.183	244.247
1891	82.744	176.488	259.232
1892	92.804	199 338	292 142
1893	121.676	247.167	368.843
Totaux. . . .	363 288	801.176	1.164.464

IV. — *Autriche-Hongrie.*

ANNÉE	PLUS DE 0,17	MOINS DE 0,17	TOTAL
1890	88.770	116.580	205.350
1891	97.346	127.184	224.530
1892	76.929	215.817	292.746
1893	86.400	233 647	320.047
Totaux. . . .	349.445	693.228	1.042 673

V. — *Belgique, Russie et États-Unis.*

ANNÉE	PLUS DE 0,17	MOINS DE 0,17	TOTAL
1890	52.385	113.642	166.027
1891	77.861	112.839	190.700
1892	78.885	131.099	209.984
1893	95.779	166.115	261.894
Totaux. . . .	304.910	523.695	828.605

TABLEAU N° 4.

Liste des usines qui emploient le convertisseur Thomas-Gilchrist.

I. — *Allemagne.*

1. Hörder Bergwerks-und Hütten-Verein, Hörde 1879
2. Rheinische Stahlwerke, Ruhrort 1879
3. De Wendel und C°, Hayange. 1879
4. Gebrüder Stumm, Neunkirchen. . . . .
5. Aachener Hütten Actien-Verein, Rothe Erde. 1880
6. Bochumer Verein, Bochum 1880
7. Maximilianshütte, Rosenberg. 1880
8. Luxemburger Bergwerks-u. Saarbrücker Eisenhütten-Act.-Gesellschaft, Burbach 1880
9. Gutehoffnungshütte, Oberhausen. 1881
10. Peiner Walzwerk, Peine. 1881

Digitized by Google

11.	Dortmunder Union, Dortmund	1881
12.	Actien-Gesellschaft Phœnix. Ruhrort	1881
13.	Eisen-und Stahlwerk Hösch, Dortmund	1883
14.	Königs-und Laurahütte, Königshütte	1883
15.	Oberschlesische Eisenbahn Bedarfs-Act. Gesellschaft, Friedenshütte	1883
16.	Hasper Eisen-und Stahlwerk, Haspe	1885
17.	Gebrüder Röchling, Wölklingen	1889
18.	Karl Von Born, Dortmund	

II. — *Luxembourg.*

1.	Hauts-fourneaux et forges de Düdelingen, à Düdelingen	1882

III. — *Autriche-Hongrie.*

1.	Prager Eisenindustrie-Gesellschaft, Kladno	1879
2.	Witkowitzer Bergbau-und Eisenhütten Gewerkschaft, Witkowitz	1879
3.	Teplitzer Walzwerk, Teplitz	1879
4.	Kaiser Franz Josephs-Hütte, Trzynietz	
5.	Salgo Tarjan	

IV. — *Angleterre.*

1.	Bolckow, Vaughan and C° Ld., Middlesborough	1879
2.	North Eastern Steel C° Ld., Middlesborough	1881
3.	Glasgow Iron and Steel C° Ld., Glasgow	1882
4.	Glengarnock Iron and Steel C° Ld.	
5.	Staffordshire Steel and Ingot Iron C° Ld., Bilston	1883
6.	Lilleshall C° Ld., Shifnal	1881
7.	Leeds Steel Works Ld.	

V. — *France.*

1.	Schneider et C^ie^, Le Creusot	1879
2.	Société anonyme des aciéries de Longwy, Mont-Saint-Martin	1879
3.	De Wendel et C^ie^, Jœuf	1879
4.	Société anonyme des forges et aciéries du Nord et de l'Est, Valenciennes	1881

VI. — *Belgique.*

1.	Société anonyme des aciéries d'Angleur, Ougrée	1879
2.	Société anonyme John Cockerill, Seraing	
3.	Société anonyme de la fabrique de fer d'Ougrée	

VII. — *Suède.*

1.	Domnarfoet	1891

VIII. — *Russie.*

1.	Aciéries d'Alexandrowsky, Saint-Pétersbourg	
2.	Pontiloff Steel Works, Saint-Pétersbourg	
3.	Les usines d'Ostrowiecs, Varsovie	

IX. *États-Unis.*

1.	Aciéries de Pottstown	

Assimilation par les végétaux de l'acide phosphorique des scories basiques. — Pour se rendre un compte exact

Digitized by Google

de l'avenir réservé à la consommation des scories basiques, il est nécessaire de savoir si ces matières peuvent prendre en tout ou en partie la place des superphosphates de chaux tels qu'on les produit en ce moment; dans quelle proportion et dans quels terrains peut s'opérer de préférence cette substitution et enfin quel intérêt ce changement peut présenter pour le consommateur.

Ceci nous amène à examiner la question de l'assimilation de l'acide phosphorique des scories par les végétaux.

Travaux de M. Otto. — La solubilité de l'acide phosphorique contenu dans les scories basiques, les différencie notablement des phosphates naturels.

Constitution chimique des scories basiques. — M. Otto a démontré, dans une étude très complète de ces matières (*), que nous allons résumer, que ces propriétés étaient dues à la présence dans ces scories d'un *tétraphosphate de chaux;* il a pu en isoler des cristaux dans les géodes des pains de scories; cette substance forme en réalité, sous forme d'une masse à cristallisation plus ou moins confuse, la majeure partie de la scorie basique telle qu'on l'emploie.

M. Hilgenstock avait, dès 1883, reconnu l'existence de la combinaison tétrabasique. Il en fit même l'objet, en 1886, d'une communication aux termes de laquelle il arrivait à considérer les scories Thomas comme formées d'un mélange fondu de silicate de chaux avec le tétraphosphate basique, plus une certaine quantité de chaux en excès et d'oxydes métalliques non combinés (**).

L'analyse de cristaux bien déterminés et presque in-

(*) Der vierbasisch phosphorsaure Kalk und die Phosphorsaüre der Thomasschlacke, par M. le Dr Otto, *Chemiker Zeitung*, 11e année, n° 18, 1887.

(**) *Verein Deutscher Eisenhüttenleute,* 1886.

colores de tétraphosphate ,triés dans les géodes des pains de scories Thomas, a donné les résultats suivants :

	Observé.	Calculé.
Acide phosphorique.	38,75	38,8
Chaux.	61,30	61,2

Le phosphate à quatre équivalents n'est nullement décomposé par l'acide carbonique gazeux. L'acide azotique étendu le dissout entièrement et la dissolution précipite en jaune par le nitrate d'argent.

Les acides chlorhydrique, sulfurique, acétique, même étendus, déplacent l'acide phosphorique de ce sel. Il en est de même de la solution au centième d'acide citrique.

J'ai donné dans le tableau de la page 183, sous le numéro II, l'analyse de la scorie basique sur laquelle M. Otto a opéré.

Cette analyse correspond à la composition suivante :

$PhO^5 . 4CaO$	49,02	p. 100
$SiO^2 . CaO$	15,85	
CaO (libre)	11,00	
CaS	1,35	
MnO.	5,24	
FeO.	8,06	
Fe^2O^3	5,14	
MgO.	3,40	
Al^2O^3	1,10	
	100,16	

Influence de l'état de division de la scorie. — M. Otto a d'abord reconnu, après Wagner, l'importance de la pulvérisation complète des scories pour activer la solubilité de l'acide phosphorique.

C'est ainsi qu'une dissolution étendue de citrate ammoniacal faiblement acide, a dissous les proportions suivantes de scories Thomas, pulvérisées plus ou moins finement :

Digitized by Google

MODE D'EXPÉRIMENTATION		TENEUR de la scorie en PhO^5 p. 100	GROSSEUR des grains en millim.	PhO^5 dissous p. 100	PROPORTION du PhO^5 dissous au PhO^5 total p. 100
3^{gr} de scorie dans 1^{lit} de citrate d'ammoniaque très étendu et légèrement acide :	sans agitation.	16,4	0,50	1,92	11,7
		16,4	0,25	6,997	42,6
		16,4	0,15	9,38	55,0
	après agitation répétée . . .	16,4	0,15	14,4	87,8

D'après M. Joulie, la solubilité est beaucoup moindre dans le citrate alcalin, mais l'influence de l'agitation est aussi des plus notables :

MODE D'EXPÉRIMENTATION		TENEUR de la scorie en PhO^5 p. 100	GROSSEUR des grains en millim.	PhO^5 dissous p. 100	PROPORTION du PhO^5 dissous au PhO^5 total p. 100
Citrate ammoniacal alcalin :	sans agitation.. . . .	16,4	0,15	3,1	19,0
	agitation répétée. . .	16,4	0,15	5,5	33,5

Voici enfin les chiffres relatifs à l'action de l'acide citrique très dilué, de l'acide carbonique et des matières humiques :

MODE D'EXPÉRIMENTATION	TENEUR de la scorie en PhO^5 p. 100	GROSSEUR des grains en millim.	PhO^5 dissous p. 100	PROPORTION du PhO^5 dissous au PhO^5 total p. 100
Acide citrique au centième	16,4	0,15	12,5	76,2
1 partie de scorie dans 12 litres d'eau chargée d'acide carbonique. . . .	16,4	0,15	14,2	86,6
Mélange de 100^{gr} de tourbe, de 1^{lit} d'eau, 1 partie de scorie, après 14 jours.	16,4	0,15	12,92	78,8

Il faut remarquer que ces différents réactifs dissolvent d'une manière presque complète le tétraphosphate pur, provenant de la pulvérisation de cristaux incolores ré-

Digitized by Google

coltés dans les géodes et que les résultats ci-dessus sont obtenus sur la scorie basique telle qu'elle est employée dans la pratique agricole.

Ces résultats éclairent d'un jour nouveau l'assimilation, bien constatée déjà, de l'acide phosphorique des scories basiques par les plantes.

Travaux de M. Wagner. — Mes propres recherches, sur ce sujet, sont confirmées par un intéressant travail de M. Wagner sur la possibilité de transformer les scories Thomas peu solubles en un produit plus facilement soluble (*).

Voici les conclusions de M. P. Wagner :

1) Il existe des scories douées d'une solubilité de 100 p. 100 dans le citrate d'ammoniaque légèrement acide. Ces scories sont presque aussi actives que le superphosphate.

2) La solubilité des scories dans le citrate varie beaucoup suivant leur provenance. Elle tombe de 100 p. 100 à 90, 80, 70, 60, 50, 40 p. 100 et la valeur fertilisante des scories baisse à peu près dans la même proportion.

3) La présence d'une certaine dose de silice est une des conditions principales nécessaires pour que la proportion de soluble dans le citrate soit relativement élevée.

Travaux de M. Hogermann. — Je dois signaler cependant une opinion sensiblement différente émise sur ce même sujet par une personne tout à fait autorisée aussi, M. G. Hogermann. Il admet, comme M. Wagner et comme je l'ai vérifié moi-même dans une récente étude que j'ai faite dans les laboratoires de l'École des Mines, à Paris, que les scories les plus solubles sont d'ordi-

(*) Une traduction du travail de M. le Professeur Dr Paul Wagner a paru dans le n° 43 (9e année) du journal *l'Engrais*, p. 1022.

naire assez riches en acide silicique, du moins tant que cette proportion de silice ne dépasse pas un certain maximum (compris entre 15 et même 28 p. 100 dans certains cas).

Toutefois M. Hogermann n'admet pas que la solubilité dans le citrate soit une mesure certaine de l'assimilabilité par les végétaux. Pour lui, les scories les plus actives, et par conséquent les plus avantageuses pour l'agriculture, sont celles qui renferment le plus de chaux caustique et le moins d'acide silicique. En effet, la chaux caustique des scories se délite facilement sous l'influence des agents atmosphériques, tandis que la silice empêche les scories de se déliter.

De plus, d'après M. Hogermann, les scories riches en chaux caustique se dissolvent mal dans le citrate, mais facilement dans le sol; en ajoutant de la silice aux scories, cette dernière se combine à la chaux libre, rendant par là les scories plus solubles dans le citrate, mais moins solubles dans le sol.

En résumé, pour M. Hogermann, les scories pauvres en silice et chargées de chaux caustique ont, à teneur égale en acide phosphorique, bien que leur acide ne soit que très partiellement soluble au citrate, une action plus intense sur les végétaux que des scories de même titre, riches en silice et plus solubles dans le citrate d'ammoniaque acidifié.

On voit que la question mérite d'être éclairée par des faits nouveaux. Il est très probable que la nature et la composition des terrains dans lesquels on a opéré n'étaient pas identiques dans les deux cas et que c'est encore dans une question d'adaptation de l'engrais au terrain que doit être cherchée la raison de ces divergences d'opinion de la part de personnes également autorisées.

Mode d'emploi des scories basiques. — On voit en défi-

nitive que pour retirer tout l'effet utile de l'emploi des scories basiques, il est indispensable qu'elles soient préalablement réduites en poudre aussi fine que possible. Il y a néanmoins une limite: M. Wagner a montré que la scorie moulue assez finement pour que les 83 p. 100 de sa masse passent à travers les mailles d'un tamis de 1/10 de millimètre, donne d'aussi bons résultats que la scorie moulue plus finement, laissant passer la totalité du produit à travers ce même tamis.

Mais en employant de la scorie assez grossière pour que 52 centièmes de sa masse aient une dimension comprise entre 1 et 2 dixièmes de millimètre et les 48 restant de 2 à 4 dixièmes, il a reconnu que dans le cas du froment 80 kilogrammes d'acide phosphorique (soit 1.170 kilogrammes de scorie pauvre à 7 p. 100 de PhO^5 à l'hectare) donnèrent seulement les 3/8 de la *récolte accrue* fournie par 40 kilogrammes d'acide phosphorique (soit 585 kilogrammes de la même scorie à l'hectare) cette dernière étant *finement moulue*. — Par *récolte accrue*, M. Wagner entend l'accroissement obtenu sur la récolte donnée par la même terre, non fumée.

Enfin, le Dr Wagner a montré que, toujours dans le cas du froment, 136 kilogrammes de PhO^5 par hectare (soit 800 kilogrammes de scorie à 17 p. 100 d'acide phosphorique en scorie *finement moulue*), exercent la même action que 68 kilogrammes par hectare d'acide phosphorique en superphosphate.

Voici d'ailleurs quelques tableaux qui résument ces données :

Digitized by Google

Expériences de M. R. Warington sur la ferme de Rothamstead.
(Sol de lourde glaise avec cailloux. Culture : navets de Suède.)

APPLICATION DE LA FUMURE	NATURE de l'engrais	POIDS de l'engrais par hectare	DATE de l'ensemencement	POIDS des racines récoltées
I. Fumier : 38.102^{kg} par hect.	Scorie	1.016	29 mai	50.135
	Superphosphate	254	29 —	50 040
II. — —	Scorie	762	31 mai	45.214
	Superphosphate	254	31 —	43 912
III. — —	Scorie	508	8 juin	43.467
	Superphosphate	254	8 —	45.690
IV. Fumier : zéro	Scorie	508	8 juin	18.369
	Superphosphate	254	8 —	18.464

Expériences faite à Montvaltin avec scories basiques du Creusot.
(Sol détritique de granite riche en potasse. Culture : froment et avoine.)

NATURE DE L'ENGRAIS	POIDS à l'hectare	RÉCOLTE EN BLÉ à l'hectare		RÉCOLTE EN AVOINE à l'hectare	
		Grains	Paille	Grains	Paille
Scorie basique à 12 p. 100 PhO^5 en quantité équivalente à 216^{kg} de PhO^5 environ	1 830	1.380	2 575	1.980	3 300
Sulfate d'ammoniaque ...	125				
Phosphate minéral du Cher à 15 p. 100 de PhO^5 équivalent à 216 ^{k} de PhO^5.	1.450	1.470	2 525	1.875	3.200
Sulfate d'ammoniaque.	125				

On doit enfin tenir compte de la nécessité absolue de n'employer les scories, comme d'ailleurs les phosphates et superphosphates, que sous forme d'*engrais complet*, c'est-à-dire en donnant à la terre, suivant le genre de culture auquel elle est destinée et son mode d'assolement, les autres éléments indispensables, azote et potasse, sans lesquels l'engrais phosphaté donne des résultats nuls ou incomplets.

Les engrais chimiques, nitrates, sels de potasse, doivent être ajoutés en couverture.

Les conclusions, très bien connues maintenant et devenues de connaissance courante pour les agriculteurs, sont les suivantes :

Les scories basiques conviennent surtout aux terrains tourbeux, glaiseux, sablonneux et pauvres en calcaire.

Dans un sol pauvre cet engrais aura une action préférable à celle du superphosphate parce que non seulement l'acide phosphorique, mais aussi la chaux et la magnésie, sont absorbés par la plante.

Travaux de M. Petermann. — Dès 1883 et 1884, M. Petermann, directeur de la station agronomique de l'État, à Gembloux, avait attiré l'attention sur les avantages des scories de déphosphoration pour l'agriculture (*).

Depuis cette époque cet agronome distingué n'a pas cessé d'étudier la question. Ses recherches, qui ont fait l'objet d'un mémoire très intéressant publié en 1888 (**), ont porté sur les points suivants :

1° La durée relativement courte de la végétation des céréales de mars est-elle suffisante pour l'assimilation de l'acide phosphorique des scories, ou, en d'autres termes, le superphosphate peut-il être remplacé par les scories, même dans les cultures d'été ?

2° L'effet produit par les scories Thomas doit-il être attribué entièrement à l'acide phosphorique, ou n'est-il pas dû exclusivement ou au moins partiellement à la chaux libre qu'elles renferment ?

Voici les conclusions des recherches de M. Petermann à ce sujet :

(*) *Bulletins de la Station Agronomique de l'État*, n°s 30, 34 et 37.

(**) A. PETERMANN, Essais sur l'assimilabilité de l'acide phosphorique des scories de déphosphoration, *Mémoires de l'Académie Royale de Belgique*, t. XLIII, 1888.

Digitized

La scorie de déphosphoration finement moulue constitue une matière fertilisante d'une haute valeur.

Dans les expériences entreprises avec deux céréales d'été (froment et avoine) cultivées dans deux sols *pourvus en excès des autres éléments nutritifs essentiels*, l'assimilation de l'acide phosphorique des scories s'est faite promptement.

L'augmentation de la substance organique produite a été très importante dans le sol sablonneux ne renfermant que 0,1 p. 1.000 d'acide phosphorique; elle a été moins considérable mais toujours manifeste dans le sol sablo-argileux à 0,65 p. 1.000 d'acide phosphorique.

La chaux libre contenue dans la scorie de déphosphoration a été sans action, quoique les sols expérimentés dussent être classés parmi ceux qui sont assez pauvres en chaux, l'un n'en renfermant que 2,37, l'autre 1,55 p. 1.000.

La forte proportion de protoxyde et de peroxyde de fer contenue dans la scorie de déphosphoration n'a pas été nuisible à la production des céréales d'été, ni à l'élaboration du sucre dans la betterave ou de la fécule dans la pomme de terre.

D'autre part, M. Petermann a conduit une série d'essais du même genre, exécutés sur les mêmes terrains et dans les mêmes conditions que ceux résumés ci-dessus concernant les scories basiques, mais en employant à leur lieu et place de la craie phosphatée (craie grise de Ciply, craie tuffeau) dans le même état de division.

Cette craie titrait à peu près la même quantité d'acide phosphorique que les scories, soit environ 16 p. 100.

Les résultats ont été régulièrement et absolument négatifs.

La raison en est facile à saisir : voici en effet le tableau donnant le coefficient de solubilité de cette craie grise dans l'eau chargée d'acide carbonique ainsi que dans un

Digitized by Google

certain nombre d'autres solutions de sels minéraux ou organiques :

NUMÉROS d'ordre	LIQUIDE DISSOLVANT : 1 litre pour 20 grammes de craie grise	TENEUR en acide phosphorique (par litre)		
		12 août 1875 (début de l'expérience)	12 juillet 1876	20 octobre 1877
		gr.	gr.	gr.
1	Eau distillée chargée de CO^2	»	»	»
2	Chlorure de potassium (1[gr] dans 1[lit]). . .	»	0,002	0,008
3	Sulfate de potasse — . . .	»	0,002	0,007
4	Carbonate de potasse — . . .	»	0,004	0,003
5	Azotate de potasse — . . .	»	0,002	0,001
6	Chlorure de sodium — . . .	»	0,001	0,008
7	Azotate de soude — . . .	»	0,001	0,801
8	Sulfate d'ammoniaque — . . .	»	0,001	0,002
9	Oxalate d'ammoniaque — . . .	»	0,003	0,001
10	Humate d'ammoniaque — . . .	»	»	»
11	Purin.	0,145	0,088	0,001

Le carbonate de chaux de la craie grise a précipité à l'état insoluble la presque totalité du phosphore contenu à l'état soluble dans le purin. Les autres dissolvants n'ont dissous, pour la plupart, que des quantités insignifiantes de phosphate.

Quant à l'action de l'eau chargée d'acide carbonique, elle a été absolument nulle sur la craie grise.

Si on rapproche ce résultat du chiffre donné dans le tableau de la page 197 pour la solubilité de l'acide phosphorique des scories basiques dans le même liquide dissolvant (86,6 p. 100), la différence d'action des deux matières sur la végétation s'explique d'elle-même.

Emploi direct des phosphates naturels. — Tous les phosphates naturels sont d'ailleurs loin d'avoir la même inertie que celui de la craie grise. Certains d'entre eux sont employés avec succès, sans autre préparation qu'une simple mouture. Ce sont surtout les nodules du Gault qui avaient paru jusqu'ici être les plus aptes à cette

Digitized by Google

assimilation directe; de même les nodules des Ardennes sont la plupart du temps épandus, après simple broyage, avec des résultats constamment reconnus comme avantageux. Il en est tellement ainsi que la proportion de nodules des Ardennes qui passe à la fabrication du superphosphate est bien moindre que celle réservée à l'emploi direct.

Essais récents de M. Grandeau. — Mais il y a plus: dans une publication toute récente(*), M. Louis Grandeau, inspecteur général des stations agronomiques, vient de faire connaître des résultats obtenus dans ses cultures avec diverses natures de phosphates. Des tableaux résumant cette étude, se dégagent des conclusions, que M. Grandeau poursuit d'ailleurs depuis bien des années déjà, qui tendent à donner la première place comme fertilisants, tout au moins dans certains terrains, aux scories basiques et aux phosphates naturels.

Certaines qualités de phosphates naturels, réputées comme complètement insolubles dans les dissolvants ordinaires, comme la phosphorite du Portugal par exemple, ont donné des rendements constamment supérieurs à ceux des superphosphates.

Je dois dire que ces résultats des cultures du Parc des Princes ont été faites dans un sol éminemment siliceux, très convenable par conséquent pour l'emploi des scories et des phosphates naturels, défavorable au contraire pour les superphosphates, qui sont contre-indiqués dans ce genre de sols. Mais, même réduit à l'application sur des terrains similaires à celui où les expériences ont été exécutées, l'emploi direct des phosphates réputés les plus insolubles mérite d'être mentionné avec quelque détail.

(*) *Journal d'agriculture pratique*, t. II, 1894, p. 450 et suiv.

Cultures du champ d'expériences du Parc des Princes. — Voici le résumé des résultats obtenus en 1892 et 1893 dans le champ d'expériences du Parc des Princes.

La partie du champ d'expériences affecté aux essais comparatifs sur la valeur fertilisante des différents engrais phosphatés, comprend seize parcelles d'une superficie d'un are et demi chacune. Le terrain, formé essentiellement de sable (93,40 p. 100), resté inculte jusqu'en 1891, a été défriché, puis défoncé à une profondeur de $0^{m},65$ à $0^{m},70$. Chacune des parcelles, sauf deux demeurées sans fumure pour servir de témoins, a reçu en 1892 la même dose d'acide phosphorique sous différentes formes (300 kilogrammes à l'hectare), plus 200 kilogrammes de potasse à l'état de kaïnite et 45 kilogrammes d'azote (300 kilogrammes de nitrate de soude à l'hectare). En 1893, on a donné à chacune des parcelles la même quantité de nitrate que l'année précédente, sans rapporter ni phosphate, ni potasse.

A titre de comparaison, deux parcelles ont été fumées avec des quantités de sulfate d'ammoniaque et de sang desséché, contenant 45 kilogrammes d'azote.

Les récoltes se sont succédé depuis 1892 dans l'ordre suivant :

En 1892 : pommes de terre Richter's Beney.

En 1893 : pommes de terre Marjolin-Tétard et jaune de Hollande. Chaque parcelle a été divisée en deux parties égales qui ont porté ces deux variétés. La semence provenait des cultures de M. Joseph Rigault, de Groslay.

En 1894, le champ a porté du blé : variété d'Alsace récoltée dans l'exploitation de M. Gâtellier, à Meaux.

La composition chimique du sol, avant fumure, a révélé son extrême pauvreté en principes fertilisants, condition très favorable à l'étude de l'action des engrais sur la végétation. Au moment de sa mise en culture, la terre du champ présentait les teneurs suivantes :

Digitized by Google

	Pour 100 de terre.
Chaux	0,920 p. 100
Magnésie	0,080 —
Potasse	0,019 —
Acide phosphorique	0,045 —
Azote	0,068 —

Elle peut donc être considérée comme un sol extrêmement pauvre.

Les quantités d'engrais incorporés au sol, au printemps de 1892, ont élevé les taux d'acide phosphorique, de potasse et d'azote à des proportions correspondant à peine aux teneurs des sols les plus médiocres sous ce rapport. En effet, après fumure, le sol renfermait seulement :

	Pour 100 de terre.
Acide phosphorique	0,0573 p. 100
Potasse	0,0300 —
Azote	0,0733 —

Les différents engrais phosphatés mis en expérience en 1892 sont au nombre de douze, savoir :

Phosphates minéraux naturels du Cambrésis, de la Somme, des Ardennes, du Boulonnais, de l'Indre, de la Floride et du Portugal. Phosphate précipité, superphosphate et deux sortes de scories de déphosphoration de provenance différente. On a résumé dans le tableau ci-contre les résultats obtenus pour chacune des parcelles : 1° en 1892, pommes de terre Beney; 2° en 1893, avec chacune des variétés Tétard et Hollande; 3° la moyenne des rendements des trois variétés récoltées dans les deux campagnes.

Digitized by Google

Classement des parcelles fumées par importance de rendements et d'après la moyenne des récoltes (rapportée à l'hectare).

Récolte de 1892.

NUMÉROS des parcelles	FUMURE	POMMES de terre Beney	NUMÉROS des parcelles	FUMURE	POMMES de terre Beney
		kg.			kg.
I	Témoin	8.830	XV	Superphosphate	25.210
X	Somme 75/80	29.200	IV	Boulonnais	24.810
XI	Floride	28.400	XIV	Phosphate précipité	23.860
XII	Scories Est	27.885	IX	Portugal	23.710
VI	Cambrésis	26.317	XIII	Scories anglaises	20.233
III	Ardennes	25.730	II	Somme 45/50	18.000
V	Indre	25.210	XVI	Témoin	12.650

Récolte de 1893.

NUMÉROS des parcelles	FUMURE	JAUNE de Hollande	NUMÉROS des parcelles	FUMURE	MARJOLIN-Tétard
		kg.			kg.
I	Témoin	9.884	I	Témoin	12.116
VI	Cambrésis	25.809	XII	Scories Est	23.188
X	Somme 75/80	24.516	XIII	Scories anglaises	21.242
XII	Scories Est	23.721	VI	Cambrésis	26.057
XIII	Scories anglaises	23.383	XI	Floride	19.335
III	Ardennes	21.875	IV	Boulonnais	18.557
V	Indre	21.726	III	Ardennes	17.566
IV	Boulonnais	21.428	X	Somme 75/80	17.395
XI	Floride	21.314	XIV	Phosphate précipité	17.283
IX	Portugal	20.478	IX	Portugal	16.180
II	Somme 45/50	19.940	II	Somme 45/50	15.490
XIV	Phosphate précipité	19.709	V	Indre	14.930
XV	Superphosphate	15.769	XV	Superphosphate	14.558
XVI	Témoin	8.204	XVI	Témoin	13.392

Moyenne des deux années
(trois récoltes réunies).

NUMÉROS des parcelles	FUMURE	MOYENNE	NUMÉROS des parcelles	FUMURE	MOYENNE
		kg.			kg.
I	Témoin	10.277	IV	Boulonnais	21.598
XII	Scories Est	24.931	V	Indre	20.619
VI	Cambrésis	24.061	XIV	Phosphate précipité	20.286
X	Somme 75/80	23.707	IX	Portugal	20.123
XI	Floride	23.016	XV	Superphosphate	18.416
XIII	Scories anglaises	22.686	II	Somme 45/50	17.816
III	Ardennes	21.724	XVI	Témoin	11.415

Digitized by Google

Pour mieux faire saisir les résultats relatifs donnés par chacune des qualités de phosphates, j'ai résumé dans un graphique (Pl. IV, *fig.* 2) lés résultats de ces tableaux.

D'autre part, en groupant les résultats moyens obtenus par nature de phosphate employé, nous trouvons comme rendement moyen général des trois variétés de pomme de terre :

	A l'hectare.
1° Scories	23.809^{kg}
2° Phosphates minéraux	21.582
3° Phosphate précipité	20.286
4° Superphosphate	18.416

Le rendement moyen des parcelles sans fumure étant de 10.846 kilogrammes, chiffre remarquable si l'on se reporte à la pauvreté du champ et qui paraît s'expliquer surtout par l'état d'ameublissement parfait et de labour profond du sol, qui ont précédé la plantation.

En résumé, les deux premières années de culture du champ d'expériences du Parc des Princes confirment les résultats constatés par M. Grandeau depuis plus de vingt années dans ses cultures en *sol siliceux, pauvre en phosphate et en chaux*, à savoir l'obtention, à dose égale d'acide phosphorique, de rendements élevés à l'aide des phosphates minéraux et des scories en poudre fine.

Il est incontestable, comme je l'ai dit plus haut, que des résultats aussi inattendus que ceux que je viens de citer, méritent de nouvelles confirmations expérimentales. Mais ne fussent-ils vérifiés que pour les sols siliceux pauvres, qui couvrent en France des étendues considérables, le gain serait encore des plus sérieux. Ces terrains pourraient être transformés par l'emploi simultané des phosphates naturels, du nitrate de soude et des sels de potasse, tandis qu'on réserverait les superphosphates pour les sols calcaires et argilo-calcaires.

Digitized by Google

Conclusions générales, relatives à l'assimilation de l'acide phosphorique par les végétaux. — J'ai tenu, avant de clore ce chapitre, à faire connaitre l'état actuel des études relatives à l'assimilation de l'acide phosphorique par les végétaux, et à présenter les données qui paraissent acquises maintenant sur son absorption par l'intermédiaire de l'eau chargée d'acide carbonique, en faisant intervenir la notion primordiale du temps dans l'analyse de ces phénomènes. J'ai terminé en faisant connaitre les résultats obtenus, dans certains terrains, avec des phosphates naturels réputés insolubles jusqu'ici. Ces résultats ne tendraient à rien moins qu'à révolutionner l'industrie des phosphates en démontrant qu'il n'est pas nécessaire, au moins dans un grand nombre de cas, de passer par l'intermédiaire coûteux du superphosphate. Je ne prétends pas prendre parti dans une question qui est encore ouverte et sur laquelle les opinions demeurent très partagées. Ce qui est certain, c'est que la question de l'assimilation du phosphore par les plantes est encore entourée de bien des obscurités ; mais quand on se reporte à peu d'années en arrière, il en était de même pour l'assimilation de l'azote. Il a fallu les découvertes et les travaux de MM. Winogradsky, Schlœsing et Muntz, pour éclairer la question d'un jour complet. Il en sera de même pour la question des phosphates, et sa solution sera une preuve de plus à l'appui de cette vérité, qui ne saurait être trop répétée : que les sciences d'application, comme l'agronomie, sont toujours sûres de trouver dans les principes purement scientifiques la solution des problèmes qu'elles ont à résoudre.

Il est bon de remarquer en terminant que l'étude de l'assimilabilité de l'acide phosphorique par les végétaux a été retardée par *une expression vague*. Le fait n'est d'ailleurs pas isolé dans l'histoire des progrès de la science. On s'est tenu pendant longtemps pour satisfait par l'ob-

Digitized by Google

servation et par le terme même employé il y a plus de quarante ans par Th. Way, qui confirmait en 1850 l'expérience de Huxtable et Thompson sur le *pouvoir absorbant* du sol, pour définir cette propriété remarquable que possède la terre arable d'arrêter, au contact de la couche superficielle, les trois substances les plus utiles à la végétation, l'ammoniaque, l'acide phosphorique et la potasse.

Cette explication a paru suffisante pendant longtemps. J'avoue que je rapproche involontairement dans mon esprit, ce *pouvoir absorbant* de l'*action de présence* et de la *force catalytique* de la mousse de platine qu'on a encore enseignée à ma génération. Je crois que ces termes vagues, qui ne satisfont plus les exigences de l'esprit moderne, ont fait leur temps, et j'espère que le mot « *pouvoir absorbant* » du sol pourra être remplacé par une explication nette, le jour où les réactions des matières humiques sur les sels, solubles et insolubles, contenus dans le sol, auront été classées dans les phénomènes chimiques proprement dits. On aura ainsi fait rentrer dans le domaine des lois générales de la chimie des phénomènes dont la complexité est due principalement à l'ignorance où nous sommes de leurs causes (*).

CHAPITRE IV.

STATISTIQUES ET CONCLUSIONS.

Ressources disponibles en phosphates. — J'ai cherché à montrer, dans les chapitres précédents, en examinant les diverses sources de phosphates auxquelles l'agriculture peut recourir pour satisfaire ses besoins croissants,

---

(*) David Levat : État actuel de la production et de la consommation des phosphates, *Association française pour l'Avancement des Sciences, Congrès de Caen*, 1894.

que ces sources ne sont pas près de tarir et que, si certains centres de production, autrefois prospères, sont appelés à disparaître, la cause en est due uniquement aux prix de vente, qui ont cessé d'être rémunérateurs. C'est au contraire la surproduction et, comme conséquence directe, l'avilissement des prix, qui caractérisent la période actuelle.

Le bon côté de cette période de dépression est que les bas prix du produit tentent les consommateurs et qu'elle les amène à adopter les méthodes culturales perfectionnées basées sur l'emploi des engrais chimiques. Une fois l'agriculture résolument engagée dans cette voie, elle ne rétrogradera pas et, l'accroissement de la consommation aidant, la valeur des phosphates pourra revenir à un taux plus normal. On pourra, dès lors, utiliser les énormes stocks de phosphates pauvres qui restent aujourd'hui inexploités ou inutilisés, par suite de l'impossibilité de leur faire supporter les frais de transport, même après enrichissement sur place.

D'autre part, les scories basiques sont venues donner un appoint considérable au marché des phosphates.

Il semble donc qu'au point de vue de la sécurité des approvisionnements de phosphate pour l'avenir, il y a lieu de revenir sur les craintes de famine qui s'étaient manifestées il y a quelques années au début de l'emploi de ces matières.

Ceci posé, je me propose, pour conclure cette étude, d'examiner d'une manière générale quelles sont les tendances des échanges de phosphates entre les principales nations, quel avenir leur est réservé et quelle influence elles peuvent avoir sur les éléments de la richesse publique.

Et d'abord, une première question se pose :

Consommation des phosphates dans le monde. — Quels

Digitized by Google

sont les besoins annuels de l'agriculture pour balancer les pertes en acide phosphorique du sol cultivé ?

En d'autres termes, quelle quantité d'acide phosphorique perdons-nous annuellement par suite des décès humains, de l'évacuation dans les fleuves et à la mer des eaux usées, et enfin de l'insuffisance des moyens de récupération et de conservation des principes fertilisants par le fumier ?

Il est curieux de constater que sur ces points essentiels, les opinions les plus divergentes, appuyées sur des raisonnements et des statistiques, sont émises par des personnes autorisées.

Estimations de M. Wyatt. — C'est ainsi que, d'après les estimations faites par M. F. Wyatt (*), en 1891, la quantité annuelle d'acide phosphorique enlevée au sol par la totalité des récoltes, tant en Amérique qu'en Europe, est de 6 millions de tonnes. Sur ce chiffre, la proportion qui retourne à la terre sous forme d'engrais contenant de l'acide phosphorique, ne dépasserait pas le *quart* de la quantité enlevée, et la moitié seulement de cette quantité rendue à la terre proviendrait des engrais chimiques. Autrement dit, cet auteur admet que l'acide phosphorique récupéré par les pailles, le fumier, les os, le sang, etc., ne dépasse pas le *huitième* de la quantité enlevée au sol par les récoltes.

Partant de ces données, et en admettant pour les phosphates employés une teneur de 30 p. 100 d'acide phosphorique, ce qui est un grand maximum, les 750.000 tonnes d'acide phosphorique rendues au sol sous forme d'engrais chimiques représenteraient 2.500.000 tonnes de phosphate réparties comme suit :

(*) *Engin. and Min. Journal*, novembre 1891, p. 592.

Digitized by Google

Angleterre.	800.000 tonnes.
Allemagne.	800.000 —
France.	500.000 —
Autres pays d'Europe	200.000 —
Amérique.	200.000 —
	2.500.000 tonnes.

Tel était le chiffre minimum annuel exigé par l'agriculture en 1891, dans le monde entier. Cette quantité, employée concurremment avec la totalité des fumures naturelles produites dans l'année, laisserait encore un déficit des *trois quarts* de la quantité d'acide phosphorique enlevée au sol par les récoltes pendant ce même laps de temps d'une année. A ce taux l'épuisement définitif du sol ne serait qu'une affaire d'un petit nombre d'années.

Statistique de M. Lindet. — D'autre part, dans une conférence faite par M. Lindet à la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale (*), cet agronome distingué, s'occupant spécialement de la statistique de l'acide phosphorique pour la France, présente des conclusions beaucoup moins inquiétantes, diamétralement opposées même à celles de M. Wyatt. Il a exprimé et soutenu la thèse que la consommation du phosphate de chaux irait, à partir d'une époque difficile à préciser, mais certaine, en diminuant, par suite de l'excès annuel considérable d'acide phosphorique que nos méthodes de fumure laissent dans le sol.

Après une série de calculs, M. Lindet établit comme suit le bilan annuel de l'acide phosphorique en France :

Perte annuelle d'acide phosphorique (Différence entre la quantité enlevée au sol par les récoltes et la quantité

(*) L. Lindet, Professeur à l'Institut national Agronomique : Consommation et perte d'acide phosphorique, Essai de statistique ; *Journal d'Agriculture pratique*, 1893, t. I, p. 805.

Digitized by Google

qui lui fait retour, non compris les additions d'engrais phosphatés industriels) 10.000 tonnes.

M. Lindet admet, on le voit, une récupération presque totale par les fumures naturelles.

Quantité d'acide phosphorique représentée par les phosphates consommés sous divers états, par l'agriculture française, pendant le même temps :

Acide phosphorique dans les scories	8.000 tonnes.
— dans les phosphates minéraux.	106.000 —
Excédent de l'acide phosphorique importé sur celui exporté	30.000 —
	144.000 tonnes.

d'où un excédent annuel de 130 à 135.000 tonnes dont s'enrichirait chaque année le sol français. A ce taux, nos terres seraient rapidement munies de la quantité d'acide phosphorique que réclament les cultures les plus gourmandes, et les exploitants de phosphate verraient leurs débouchés se fermer.

Des différences pareilles d'appréciation tiennent surtout à la différence des points de départ, et ensuite à ce que les coefficients de récupération de l'acide phosphorique, une fois qu'il est entré dans le cycle des consommations, sont fixés, suivant les auteurs, d'une manière tout à fait arbitraire. Ils dépendent de l'analyse d'une série de phénomènes indépendants les uns des autres, qui varient énormément d'un pays à l'autre et dont les résultats sont, par conséquent, très difficiles à apprécier d'une manière même approximative. Pour ne citer qu'un exemple bien connu, la question des engrais chimiques ne se pose pas dans la culture chinoise, morcelée à l'excès, nécessitant peu de bétail et dans laquelle les usages permettent une récupération presque intégrale des matières usées. Elle joue, au contraire, un rôle prépondérant dans

Digitized by Google

les pays européens, où une grande partie de l'acide phosphorique passe par l'intermédiaire du bétail, et pour lesquels la solution du « tout à l'égout » et de là à la mer, constitue la formule du progrès.

Autre mode d'estimation. — Il me semble qu'on peut envisager la question des besoins agricoles de l'acide phosphorique en partant d'une base différente de celle qui consiste à évaluer le poids global de ce composé, dans les récoltes annuelles du monde entier et à en estimer le déchet probable. En réalité, la balance ne s'établit pas d'une manière aussi simple.

Notions sur la teneur du sol en acide phosphorique. — Nous nous plaignons de la pauvreté des terres en acide phosphorique, notamment en France ; or, qu'entend-on par une terre pauvre ou riche en PhO^5 ?

On considère comme riche en acide phosphorique une terre contenant 5 millièmes de son poids de phosphate de chaux, soit $\frac{5}{2,18} = 2,30$ millièmes environ d'acide phosphorique.

En estimant à $0^m,20$ l'épaisseur de terre arable intéressée à la végétation et aux phénomènes d'assimilation qui en sont la conséquence, on voit que la quantité de phosphate de chaux contenue dans un hectare de terre riche représente, en admettant 1,5 pour la densité de la terre :

$$10.000 \times 0,20 \times 1,5 \times 0,005 = 15 \text{ tonnes.}$$

Une terre de richesse moyenne, à 1 millième d'acide phosphorique, en contiendra, pour un calcul semblable, environ 6.500 kilogrammes.

Et une terre pauvre à 0,33 pour 1.000 d'acide phosphorique, contiendra à l'hectare 2.200 kilogrammes de phosphate de chaux.

Digitized by Google

Une terre de ce genre ne produit que des rendements insignifiants de céréales, bien que la récolte la plus exigeante n'enlève pas plus de 30 à 40 kilogrammes d'acide phosphorique par hectare, à la terre qui la produit.

Or, il n'est nullement nécessaire de donner à une terre pauvre la totalité de l'écart qui existe entre l'acide phosphorique qu'elle contient et celui que renferme une terre riche, pour obtenir la récolte maxima correspondante. On arriverait, en prenant les nombres qui m'ont servi d'exemple, à des chiffres colossaux, de 4.300 kilogrammes de phosphate pour arriver à la teneur du terrain de richesse moyenne, et de 12.800 kilogrammes de phosphate pour égaler la terre riche.

Or, tout le monde sait qu'il suffit d'une quantité infiniment moindre, de 100 à 150 kilogrammes d'acide phosphorique à l'hectare, correspondant à 1.000 ou 1.500 ou 1.800 kilogrammes de superphosphate ou de scorie basique, suivant les cas, pour doubler et tripler dans certains cas, pour augmenter en tout cas d'une façon très avantageuse, la récolte d'une terre pauvre en acide phosphorique, où l'analyse décèle pourtant, je le répète, une quantité de phosphate contenue naturellement dans le sol, *dix ou quinze fois plus grande* que celle ajoutée sous forme d'engrais.

Il n'y a donc aucune proportionnalité à établir *a priori* entre la richesse naturelle d'un sol en acide phosphorique (on pourrait en dire autant des autres principes) et la quotité du poids de ce corps qu'il suffit d'importer par la fumure, pour accroître la fertilité de ce sol (*).

Notions sur les AFFINITÉS MÉNAGÉES. — C'est que

(*) Grandeau, *Étude agronomique*, 6e série, p. 73.

dans les phénomènes de l'assimilation végétale on doit, pour raisonner exactement, avoir toujours présente à l'esprit la *notion de durée* de ces phénomènes. Les actions locales, au moyen desquelles se produisent les migrations des matières minérales dans les cellules vivantes, ces *affinités ménagées*, suivant l'heureuse expression que M. Bernard a appliquée à ces phénomènes, exigent du temps pour se produire, même s'il y a excès des matières pouvant réagir les unes sur les autres. La rapidité et l'intensité de l'absorption s'augmentent lorsque, par une préparation convenable, on présente les matières dans un état permettant l'assimilation directe et rapide, et c'est là l'unique raison de leur succès. Si les céréales avaient le temps, comme les arbres d'essence forestière, d'absorber pendant la durée de leur existence la quantité d'acide phosphorique qui leur est nécessaire par la décomposition des phosphates réputés insolubles, qui se trouvent naturellement contenus dans le sol, point ne serait besoin de leur présenter l'acide phosphorique sous une forme rapidement assimilable. C'est ce qui explique les insuccès fréquents des cultures sur des défrichements de forêts luxuriantes, après que le regain passager donné par l'incinération des arbres abattus, a réduit le terrain à sa richesse normale en acide phosphorique lentement assimilable, utilisable pour les arbres, à raison de leur pérennité, mais totalement insuffisante pour des cultures annuelles.

Les calculs qui assignent à la terre, comme condition de sa fertilité, l'addition de milliers de kilogrammes d'acide phosphorique à l'hectare et qui tendraient à les y incorporer tout d'abord comme condition *sine qua non* de leur fertilité, ne reposent donc ni sur des preuves expérimentales, ni sur une appréciation exacte des phénomènes naturels. En réalité, des quantités infiniment moindres sont largement suffisantes.

Digitized by Google

De l'accumulation de l'acide phosphorique dans le sol. — Il est certain, d'autre part, que les doses ordinaires de fumure phosphatée qui sont recommandées pour les cultures, particulièrement pour les céréales, contiennent une quantité d'acide phosphorique très notablement supérieure à celle qu'enlève la récolte, en supposant même qu'il n'y ait aucun retour sous forme de fumier de ferme. On tend donc ainsi à augmenter, et par conséquent à reconstituer le capital initial phosphore de la terre arable ; mais on comprend aisément aussi que cette capitalisation est très lente.

Le but à poursuivre est, en définitive, de donner à la végétation, *pendant le temps assez limité où elle occupe le terrain*, l'acide phosphorique qui lui est nécessaire pour obtenir le rendement maximum et ce, au prix le plus bas possible pour l'unité de phosphate. L'habileté consiste donc à appliquer, suivant le terrain et le genre de culture, la forme de phosphate qui, tout en étant la plus économique, peut être le plus complètement absorbée pendant la durée de végétation de la récolte ou mieux des récoltes qui correspondent à la formule d'assolement adoptée.

Conclusions. — On peut considérer en définitive l'époque où la diminution de demande pour les phosphates agricoles se produira, par suite de l'accumulation, comme une de celles dont l'échéance est des plus éloignées et incertaines et dont il n'y a pas, par conséquent, à se préoccuper en ce moment.

De la récupération du phosphore dans les résidus. — Il pourra y avoir une certaine concurrence, pour les phosphates minéraux et industriels, dans la meilleure utilisation des résidus organiques de toutes sortes et notamment des eaux usées, par lesquelles s'élimine et se perd d'une manière définitive, la majeure partie du phosphore qui passe dans le cycle des consommations.

Mais il faut reconnaitre que la question de la récupération des phosphates dans les matières usées est encore loin d'être résolue, sauf dans des cas très particuliers et que les solutions proposées, autres que l'évacuation plus ou moins directe à la mer, ne sont pas de nature à faire rentrer les éléments utilisables contenus dans ces matières, dans les cultures agricoles proprement dites. Ce n'est pas en effet par l'épandage au voisinage de quelques grandes villes, sur des champs de culture maraichère, qu'on réalisera le cycle parfait qui doit relier théoriquement la production végétale et animale en ne laissant comme déchet net que celui résultant du respect des sépultures.

Somme toute, on ne voit pas se dessiner de solution pratique et économique pour la récupération de l'acide phosphorique éliminé. Cette question offre des difficultés énormes : elle touche à tant de problèmes délicats d'hygiène, d'assainissement, de physiologie animale et végétale, qu'il est probable que,pendant longtemps encore, la solution par l'évacuation dans les rivières et la perte définitive qui en résulte, restera la règle dans la majorité des cas. On peut même se demander, en envisageant la question au point de vues purement industriel, si, dans l'état actuel de nos moyens d'action, il n'est pas plus économique de demander l'élément phosphore aux sources minérales et métallurgiques que nous venons de passer en revue qu'à sa récupération dans des matières usées, difficiles à manier et où cet élément se trouve la plupart du temps à un état de dilution extrême. Il est vrai qu'il se présente alors à un état qui la rend aisément assimilable par les végétaux, mais là encore les idées reçues jusqu'à présent se trouvent singulièrement modifiées par les constatations pourtant indéniables qui tendent à faire rentrer les phénomènes d'assimilation du phosphore par les plantes, restés obscurs jusqu'à présent, dans l'ordre

Digitized by Google

des phénomènes chimiques ordinaires, en faisant intervenir seulement la *notion du temps*, dans les réactions qui se passent dans le sol.

Particularités du marché des phosphates. — Il résulte de cet ensemble d'appréciations que la consommation des phosphates paraît devoir se développer considérablement sans qu'il y ait lieu de craindre, pour cette matière première, un resserrement de la consommation provenant de la récupération du stock en roulement. Il y a là une différence profonde, tenant à la nature même des choses, avec les métaux usuels par exemple, qui ne se détruisent que partiellement et dont le stock d'ensemble, après avoir été consommé une première fois, revient d'une façon plus ou moins complète sur le marché, dont il contribue à maintenir la lourdeur. On se rappelle encore que lors de la grande inflation des cours du cuivre, en 1887, la consommation a vécu sur le stock de vieux métaux et alliages, stock ignoré de tous et ne figurant sur aucune statistique, ce qui a contribué à hâter la fin de cette crise mémorable.

Le marché des phosphates présente aussi cette circonstance qu'il n'y a pas, du moins dans les conditions normales des affaires, de stock flottant et important disponible ; c'est là à la fois une cause de mobilité des cours et de facilité offerte à la spéculation, qui est plutôt regrettable. Il est probable que la production d'une grande quantité de scories basiques modifiera sensiblement l'état de choses actuel, en donnant au marché une base plus stable.

Données générales sur le commerce des phosphates. — Le commerce des phosphates présente certaines particularités qu'il est intéressant de connaître. Les affaires, tant en phosphates naturels vendus par les producteurs aux fabricants de superphosphates ou à l'agriculture,

Digitized by Google

que celles qui ont trait à la vente des superphosphates à la clientèle, se font par l'intermédiaire de courtiers généraux établis dans les grands centres, Londres, Hambourg, Paris. Enfin il y a des placiers qui visitent, pour le compte des marchands d'engrais en gros, la clientèle agricole.

Il est difficile de se passer de ces intermédiaires, étant donné le genre spécial de consommateurs auxquels on s'adresse.

Néanmoins, depuis la création des syndicats agricoles, beaucoup d'affaires se traitent directement entre les producteurs et les agriculteurs. Les adjudications de ce genre, qui font bénéficier les plus petits consommateurs du prix du gros et des garanties de bonne livraison, ont été une des principales raisons qui ont amené le développement rapide de la consommation. Elles ont produit aussi, par suite de la multiplicité des offres provoquées, un abaissement des prix qui paraît maintenant avoir atteint la limite possible.

Le phosphate ne donne pas lieu à la spéculation directe par des ventes ou achats à découvert. Il n'existe pas, à proprement parler, de Bourse et de cours officiel pour cette marchandise. Elle ne se warrante pas. Il n'y a pas non plus de ventes publiques régulières qui fixent le cours.

Les affaires de phosphates et les affaires d'engrais en général se traitent par *marchés* à livrer, parfois à très longue échéance. On traite de très grosses affaires, *à prix ferme*, à livrer sur les 6, 12, 15, 18 mois et même à deux ans. C'est là que peut s'exercer la spéculation, dans un sens ou dans l'autre, ce dont il a été largement profité aux époques encore peu éloignées où les dénivellations des cours ont été considérables et rapides.

Les phosphates se vendent au prix net, au comptant; pour les superphosphates on fait en général 1 p. 100 à

Digitized by Google

30 jours. Les sacs sont, sauf stipulation contraire, compris dans le prix payé par l'acheteur. Les affaires se traitent principalement aux époques des semailles, de sorte qu'il y a en général deux saisons.

Les commissions et courtages varient de 1 à 3 p. 100, suivant que l'agent est, ou non, ducroire.

En France, par exemple, la fabrication et la vente sont très actives, de décembre à mi-mars pour les semailles du printemps; l'été est une saison de repos relatif, dont on profite pour exécuter les réparations et nettoyages dans les usines.

On recommence fin juillet jusqu'en octobre pour la saison d'automne.

En Angleterre, la saison ouvre de juillet à février d'une manière à peu près continue pour la consommation locale. Il y a en outre une saison de septembre à fin novembre pour l'exportation, principalement dans la Méditerranée et l'Espagne.

Dans les pays qui sèment du blé noir, comme la Bretagne, les achats d'engrais au printemps se prolongent jusqu'en juin.

En Allemagne, vu le développement des cultures sarclées de printemps, principalement de la betterave, la campagne de vente de printemps est de beaucoup la plus importante.

En résumé, bien que la fabrication des superphosphates s'opère d'une manière à peu près régulière pendant tout le cours de l'année, les époques où elle est la plus active concordent avec celles des campagnes de vente, c'est-à-dire, en France, de juillet à octobre et de décembre à fin mars.

D'autres considérations, d'ordre plus général, viennent s'ajouter à celles que je viens d'énumérer pour confirmer les prévisions d'accroissement dans l'emploi des phosphates.

Digitized by Google

Transformations dans le mode des échanges en général. — Nous assistons dans le monde entier à une modification radicale de l'ancien état de choses. La facilité des communications, le phénomène de l'abaissement constant du taux des frets, ont amené des perturbations profondes dans les échanges. Telle région naguère à peine connue de nom, envoie maintenant ses produits sur les marchés étrangers avec des prix de transport qui ne sont nullement fonction de la distance.

Baisse générale des frets. — Des combinaisons de toute nature, groupant les marchandises qui doivent être transportées en sens inverse, de manière à assurer aux navires des frets d'aller et retour sans perdre de temps aux points extrêmes, permettent de réaliser des opérations qu'on jugerait au premier abord impossibles. Des lois affectant particulièrement les transports par mer, comme celle de la prime à la marine marchande française, viennent apporter des facteurs nouveaux dans le jeu compliqué des relations et des échanges internationaux.

Conséquences. — Une transformation aussi profonde devait forcément amener un accroissement des offres, et par conséquent une crise dans les prix de vente. Pour les céréales en particulier, cette crise a sévi et sévira encore, si tant est qu'elle doive prendre fin. On sait que nous avons cherché le remède dans des droits protecteurs. L'examen des résultats que produiront ces mesures n'entre pas dans le cadre de ce travail.

Nécessité absolue d'augmenter le rendement des récoltes de céréales en France. — Mais ce qu'on peut dire sans distinction d'opinion et d'école, c'est qu'il est abondamment démontré aujourd'hui que nous pouvons en

Digitized by Google

France, par l'emploi de moyens simples et qui sont maintenant enseignés couramment, à savoir : sélection des semences, emploi des engrais chimiques appropriés au sol et de composition loyale, améliorer le rendement moyen de notre sol et suffire non seulement à nos besoins, mais devenir à notre tour exportateurs de nos excédents

Il y a déjà dans ce sens un notable progrès obtenu, notamment en 1893 pour les avoines et les orges. On relève en effet dans les documents publiés par le Ministère de l'Agriculture en 1893, pour ce qui est relatif à ces deux céréales, les renseignements qui suivent.

Récolte de 1893 *en avoine et orge.* — Pour la France, l'avoine est, après le blé, la principale de nos céréales. Elle jouit aujourd'hui d'une grande faveur auprès des cultivateurs, car c'est le produit dont les prix se sont ordinairement le mieux tenus dans ces dernières années. Aussi les surfaces qui leur sont consacrées vont-elles en augmentant, surtout depuis deux ans. Cette année, elles se sont élevées à 3.842.000 hectares, en accroissement de 40.000 hectares par rapport à l'année 1892, et de 63.000 par rapport à la moyenne décennale précédente. Le rendement total s'élève à 98.304.000 hectolitres; il est supérieur de plus de moitié à celui de 1893, qui avait été exceptionnellement faible; par rapport à la moyenne de la dernière période décennale, le produit de cette année est supérieur de 9 millions d'hectolitres. Quant au rendement par hectare, il ressort, pour l'ensemble du pays, à 25 hectol. 51, en accroissement de plus de 2 hectolitres sur celui de cette même période décennale. La qualité du grain est d'ailleurs bonne; le poids de l'hectolitre atteint, en effet, 47 kilogrammes pour l'ensemble de la récolte.

En ce qui concerne l'orge, qui occupe à peine chaque

Digitized by Google

année le tiers de la surface consacrée à l'avoine, les documents officiels accusent, comme pour cette dernière, mais dans des proportions moindres, une augmentation dans la surface cultivée. Celle-ci a été, en 1894, de 939.000 hectares, soit 65.000 de plus qu'en 1893, mais 35.000 de moins que pendant la période décennale. Le produit total s'élève à 19.932.000 hectolitres, supérieur de 1.850.000 hectolitres à la production moyenne des dix dernières années. Le rendement moyen par hectare est de 21 hectol. 22 au lieu de 18 hectol. 76 pendant la dernière période décennale; soit 2 hectol. 46 de plus en faveur de 1894.

En résumé, le fait caractéristique qui ressort des documents publiés par le Ministère de l'Agriculture, tant pour la récolte du blé que pour celle des autres céréales, c'est un accroissement notable dans les rendements. Cet accroissement est le résultat des efforts poursuivis avec persévérance par les cultivateurs pour l'application des engrais phosphatés appropriés au sol.

Parallèle avec l'Angleterre. — Au commencement du siècle, l'Angleterre produisait 14 hectolitres de froment par hectare : elle en récolte 28 aujourd'hui.

En France, le rendement en blé, en 1789, était au maximum de 8 hectolitres ; en 1889, il dépassait 15 hectolitres à l'hectare.

Dans l'un et l'autre pays, le rendement a doublé dans la même période de temps.

Mais si l'on songe que cet accroissement a été obtenu, en France, presque sans emploi de fumures complémentaires des fumiers de ferme, tandis que l'Angleterre consomme 800.000 tonnes d'engrais phosphatés, on ne peut se refuser à admettre qu'il soit, non seulement possible, mais facile d'accroître de 5 hectolitres le rendement moyen de notre sol en blé.

Nous produirons alors 140.000.000 d'hectolitres, soit 108.000.000 de quintaux de froment, chiffre non seulement suffisant pour nous affranchir complètement de l'importation étrangère, mais pour nous permettre de devenir à notre tour exportateurs de céréales (*).

Sécurité produite par cet accroissement de rendement. — Arriver à ce résultat sera certainement la meilleure des protections et la plus sûre, car elle aura d'abord pour premier résultat de rendre cette protection inutile pour les intéressés actuels; et elle nous mettrait ensuite à l'abri des fluctuations imprévues qui pourront se produire inopinément dans l'avenir; or les dernières années qui viennent de s'écouler ont été fertiles en perturbations de ce genre.

Phénomène des changes sur certains pays. — Au nombre des événements qui peuvent être rangés dans cette catégorie figure en première ligne la hausse des changes dans tous les pays à « finances avariées ». Plusieurs de ces contrées, et notamment la République Argentine, sont des exportateurs importants de produits agricoles. Le change équivaut, pour les producteurs de ces contrées, à une prime sur la valeur brute de leurs produits, puisque les consommateurs d'Europe les paient en or, tandis que le prix de revient qu'ils ont à débourser pour obtenir ces mêmes produits est payé par eux en monnaie dépréciée.

On comprend que dans ces conditions, ces pays n'aient pas d'intérêt à voir leur change s'améliorer et ne fassent aucun effort pour le diminuer. C'est ce qu'on constate en effet.

Les droits d'entrée qu'on peut imposer à ces marchandises soit loin de compenser la prime de l'or et c'est en

---

(*) Grandeau, *loc. cit.*

Digitized by Google

définitive le consommateur européen qui paie cette prime sous forme de droits de douane.

Dépréciation du métal argent. — Une perturbation d'un autre ordre, mais non moins grave, à cause de son influence sur le marché des céréales de l'Inde, provient du phénomène de la baisse du métal argent. Le cours de 27[d] l'once standard que nous avons atteint en janvier 1894 correspond à une dépréciation de 55 p. 100 environ de la valeur intrinsèque de la monnaie d'argent, seul étalon employé aux Indes. La suspension de la frappe des roupies, décidée par le gouvernement anglais, venant après le retrait du Bland Bill aux États-Unis, n'a fait que précipiter cette baisse colossale. On ne voit pas encore comment cette situation se dénouera, mais ce qui est certain, c'est qu'elle est de nature à maintenir un état d'instabilité, dans les affaires en général, et sur le marché des céréales en particulier, dont elle complique la situation par l'introduction, dans la fixation des prix, de ce facteur nouveau : la cote, variable d'un jour à l'autre, de la roupie à Bombay et Calcutta.

Statistique générale des phosphates en France.

Après cet aperçu rapide de l'avenir des phosphates dans l'agriculture, j'arrive à l'examen de la question qui intéresse plus spécialement la France, celle de l'emploi des ressources en phosphate naturel que possède notre pays. J'ai montré dans les chapitres I et II quel était l'état de ces ressources, tant en France qu'en Algérie. Voyons comment nous en tirons parti.

I. — Phosphates naturels.

Examinons d'abord quel a été dans ces cinq dernières années, le mouvement des phosphates naturels en France.

Tableau des importations et exportations des phosphates naturels en France, de 1889 à 1894.

ANNÉES	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS	EXCÉDENT des exportations sur les importations
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1889	6.915	150.963	144.048
1890	21.457	122.007	100.550
1891	17.644	91.821	74.177
1892	40.910	83.885	42.975
1893	87.022	100.034	13.012
1894 (7 mois)	51.414	66.006	14.592

On voit que l'excédent de nos exportations sur les importations diminue rapidement. C'est un résultat dont il y a lieu de se féliciter, car une partie de ces phosphates revenait chez nous après avoir été transformée en superphosphate par nos voisins, qui réalisaient à notre lieu et place le bénéfice du phosphatier.

Il est intéressant de savoir chez qui ces phosphates sont transformés. Les tableaux détaillés ci-dessous répondent à cette question :

Digitized by Google

Tableau donnant la destination des phosphates naturels français exportés de 1889 à 1894.

ANNÉES	PAYS destinataires	PAR NAVIRES français	PAR NAVIRES étrangers	PAR TERRE	TOTAL	VALEURS	OBSERVATIONS
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		
1889	Suède	»	3.553	»	3.553		
	Danemark	»	1.052	»	1.052		
	Allemagne	2.199	17.856	574	20.629		
	Pays-Bas	»	896	»	896		
	Belgique	»	»	45.207	45.207		
	Angleterre	24.131	47.834	»	71.965		
	Italie	»	»	4.988	4.988		
	Suisse	»	»	876	876		
	Autres pays	244	1 549	»	1 793		
	Totaux pour 1889	26.575	72.741	51.646	150.963	7.548.190	
1890	Suède	»	966	»	966		
	Danemark	»	610	»	610		
	Allemagne	2.458	22.031	1.038	25.527		
	Belgique	»	»	54.581	54.581		
	Angleterre	150	38.796	»	38.946		
	Portugal	220	»	»	220		
	Italie	»	250	20	270		
	Suisse	»	»	659	659		
	Autres pays	209	15	0,6	225		
	Totaux pour 1890	3.037	62.669	56.999	122.007	6.100.383	
1891	Norvège	210	»	»	210		
	Allemagne	942	6.501	2.198	9 641		
	Belgique	»	»	58.285	58.285		
	Angleterre	623	19.028	»	19.652		
	Espagne	200	204	»	404		
	Italie	215	3.405	»	3.620		
	Autres pays	0,8	»	5	5,9		
	Totaux pour 1891	2.191	29.138	60.488	91.821	4.591.059	
1992	Allemagne	»	7.529	9	7 538		
	Belgique	»	»	54.632	54.632		
	Angleterre	1.383	15 843	»	17.226		
	Espagne	717	680	»	1.397		
	Italie	»	2.351	»	2.351		
	Autres pays	113	625	»	738		
	Totaux pour 1892	2.213	27.029	54.641	83.885	4.194.251	
1893	Allemagne	550	8.210	»	8.760		
	Belgique	»	»	48.337	48 337		
	Angleterre	1 238	35.542	»	36.780		
	Espagne	2.075	1.851	»	3.926		
	Italie	201	1.680	»	1.881		
	Autres pays	133	215	»	348		
	Totaux pour 1893	4.198	47 498	48.337	100.034	5.001.734	
1894 7 mois	Totaux pour les 7 premiers mois de 1894				66.006	3.300.300	Chiffres provisoires

Digitized by Google

Ce tableau prouve que la Belgique, puis l'Angleterre et ensuite l'Allemagne sont, par ordre d'importance, nos principaux acheteurs de phosphates naturels, la Belgique prenant à elle seule plus de 50 p. 100 du chiffre total de nos exportations.

Voyons maintenant les principaux pays qui importent des phosphates naturels en France. Les tableaux de détail, analogues aux précédents, vont nous fixer à cet égard :

Tableau donnant l'origine des phosphates naturels importés en France de 1889 à 1894.

ANNÉES	PAYS D'ORIGINE	PAR NAVIRES français	PAR NAVIRES étrangers	PAR TERRE	TOTAL	VALEURS	OBSERVATIONS
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		
1889	Belgique	»	»	6.903	6.903		
	Italie	0,5	»	»	0,5		
	Algérie	11,3	»	»	11,3		
	Totaux pour 1889.	11,8	»	6.903	6.915,8	345.751	
1890	Pays-Bas	»	1.270	»	1.270		
	Belgique	5.164	4.385	4.784	14.334		
	Portugal	430	»	»	430		
	Etats-Unis	2.085	2.990	»	5.076		
	Algérie	157	»	»	157		
	Autres pays	1	187	1	189		
	Totaux pour 1890.	7 839	8.832	4.785	21.457	1.072 886	
1891	Belgique	3.958	4.241	5.223	13.423		
	Angleterre	903	1.195	»	2.099		
	Brésil	»	945	»	945		
	Canada	470	»	»	470		
	Cuba	448	»	»	448		
	Autres pays	72	185	»	257		
	Totaux pour 1891.	5.854	6.566	5.223	17.644	882.210	
1892	Pays-Bas	»	5.919	70	5.989		
	Belgique	1.151	2.959	13.327	17.438		
	Angleterre	4.102	7.100	»	11.202		
	États-Unis	651	»	»	651		
	Canada	»	3.896	»	3.896		
	Autres possessions angl	846	»	»	846		
	Algérie	725	»	»	725		
	Autres pays	25	125	10	160		
	Totaux pour 1892.	7.502	20.000	13.407	40.910	2.045.511	
1893	Bays-Bas	»	1.930	»	1.930		
	Belgique	5 897	19.675	25.954	51.509		
	Angleterre	304	399	»	703		
	Etats-Unis	1.798	27.433	»	29.231		
	Canada	»	1.566	»	1.566		
	Guyane	470	665	»	1.135		
	Algérie	512	»	»	512		
	Autres pays	428	4	»	432		
	Totaux pour 1893.	9.393	31.674	25.954	87.022	4.351.416	
1894	Totaux pour 1894 (7 mois)				51.414	2.570.720	Chiffres provisoires

On voit que les phosphates naturels nous arrivent principalement de la Belgique et de la Floride. On remarquera que l'importation de cette dernière va en croissant. Nous en avons dit précédemment la raison. Nos phosphates riches de l'Oise et de la Somme, qui nous ont suffi jusqu'à présent, commencent à manquer.

Il est bon de noter que l'importation des phosphates naturels est, au point de vue spécial du tonnage transporté sous pavillon français, moins défavorable que l'exportation. Pour ces quatre dernières années surtout, la part du pavillon national dans le total des exportations des phosphates naturels français n'a pas atteint 10 p. 100.

II. — Superphosphates.

Les tableaux de la Statistique Générale des Douanes ne permettent pas de remonter, en ce qui concerne les superphosphates, aux années antérieures à 1890. Avant cette époque, les superphosphates étaient confondus, sous la rubrique « engrais et autres » avec des matières fertilisantes non phosphatées.

Tableau des importations et exportations des superphosphates en France, de 1890 à 1894.

ANNÉES	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS	EXCÉDENT des importations sur les exportations
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1890	99.446	27.327	72.119
1891	98.521	36.068	62.453
1892	97.723	43.307	54.416
1893	97.983	25.667	72.316
1894 (7 mois)	58.629	20.726	37.903

Il y a donc eu un certain progrès en 1891 et en 1892, en ce sens que nous avons augmenté pendant cette période nos exportations de produits fabriqués, mais les importations sont toujours très considérables et voisines de 100.000 tonnes par an en moyenne, représentant, aux cours actuels, environ 6.000.000 de francs. Examinons quels sont les pays qui nous les fournissent.

Tableau donnant l'origine des superphosphates importés en France, de 1890 à 1894.

ANNÉES	PAYS D'ORIGINE	PAR NAVIRES français	PAR NAVIRES étrangers	PAR TERRE	TOTAL	VALEURS	OBSERVATIONS
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.	
1890	Allemagne. . . .	58	»	4.418	4.477		
	Pays-Bas	982	»	»	982		
	Belgique	1.380	4.444	69.646	75.471		
	Angleterre.	5.322	13.136	»	18.458		
	Autres pays.	5	53	17	75		
	Totaux pour 1890.	7.749	17.633	74.082	99.446	9.946.636	
1891	Allemagne.	237	1.932	5.270	7.440		
	Pays-Bas.	»	69	80	149		
	Belgique.	5.182	3.905	57.241	66.328		
	Angleterre.	9.926	13.053	»	22 979		
	Algérie.	1.441	»	»	1.441		
	Autres pays.	100	»	81	181		
	Totaux pour 1891.	16.888	18.960	62.672	98.521	9.852.129	
1892	Allemagne.	195	»	886	1.082		
	Pays-Bas.	»	336	110	446		
	Belgique.	6.945	19.359	48.166	74.672		
	Angleterre.	11.900	9.433	»	21.333		
	Algérie.	168	»	»	168		
	Autres pays.	21	»	»	21		
	Totaux pour 1892.	19.230	29.329	49.163	97.723	5.863.432	
1893	Allemagne.	61	120	1.268	1.449		
	Belgique.	5.250	31.496	26.312	63.059		
	Angleterre.	10.569	17.701	»	28.270		
	États-Unis (O.-At.)	»	5.139	»	5.139		
	Autres pays.	32	10	20	62		
	Totaux pour 1892.	15.914	54.468	27.600	97.983	5.879.001	
1894 (7 mois)	Totaux pour 1894 (7 mois.). . . .				58.629	3.466.626	Chiffres provisoires

On voit que c'est la Belgique qui, à elle seule, représente les trois quarts de cette importation ; l'Angleterre livre le solde, les autres pays n'ont qu'une part à peu près nulle dans ce mouvement. L'un et l'autre de ces deux pays nous achètent nos phosphates riches et purs pour améliorer la teneur de leurs produits, et nous les réexpédient en partie sous forme de superphosphates. Ils ont sur nous l'avantage d'avoir l'acide sulfurique à très bon marché, à cause des grillages de minerais, des transports économiques par eau et par mer, de la houille à bas prix, etc., comme je l'ai expliqué au chapitre des superphosphates. Ce sont des concurrents redoutables pour nos industriels français.

Examinons maintenant comment se répartissent nos exportations de superphosphates. Leur chiffre total est peu élevé, mais il va en s'améliorant et il est intéressant de voir quels sont les débouchés qui nous sont ouverts.

Tableau donnant la destination des superphosphates français exportés de 1890 à 1894.

ANNÉES	PAYS destinataires	PAR NAVIRES français	PAR NAVIRES étrangers	PAR TERRE	TOTAL	VALEUR	OBSERVATIONS
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		
1889	Belgique	»	»	4.201	4 201		
	Espagne	560	6.205	428	7.194		
	Italie	198	1.141	»	1.340		
	Suisse	»	»	1. 15	1.815		
	Afrique (possessions anglaises)	542	682	»	1.224		
	Antilles françaises	2.839	23	»	2.862		
	Autres pays	408	253	393	1.054		
	Totaux pour 1889	4.519	8.306	6.811	19.698	1.969.830	
1890	Belgique	»	»	5.693	5 693		
	Espagne	182	6.631	106	6.920		
	Italie	52	217	5.790	6 060		
	Suisse	»	»	3.156	3.156		
	Antilles françaises	2.906	»	»	2 906		
	Autres pays	1.635	540	412	2.589		
	Totaux pour 1890	4 777	7.389	15.159	27.327	2.732.733	

Digitized by Google

Tableau donnant la destination des superphosphates français exportés de 1890 à 1894 (suite).

ANNÉES	PAYS destinataires	PAR NAVIRES français	PAR NAVIRES étrangers	PAR TERRE	TOTAL	VALEUR	OBSERVATIONS
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes		
1891	Belgique	»	1	6.373	6.374		
	Espagne	2.022	7.742	69	9.834		
	Italie	25	2.492	8.272	10.794		
	Suisse	»	»	2.988	2.988		
	Antilles françaises	2.619	»	»	2.619		
	Autres pays	2 357	333	765	3.456		
	Totaux pour 1891	7.024	10.573	18.469	36.068	3.606.834	
1892	Allemagne	300	3.424	»	3.724		
	Belgique	»	»	16.855	16.855		
	Angleterre	»	2.191	»	2 191		
	Espagne	53	3.070	1.176	4.301		
	Italie	»	2.898	7.478	10 476		
	Suisse	»	»	2.221	2.221		
	Afrique (possessions anglaises)	395	»	»	395		
	Autres pays d'Afrique	159	»	»	159		
	Algérie	277	»	»	277		
	Antilles françaises	1.527	64	»	1 527		
	Autres pays	1 104	7	»	1.114		
	Totaux pour 1892	3.819	11.756	27.731	43.307	3.025.082	
1893	Allemagne	»	»	1 721	1.721		
	Belgique	10	5	5.827	5.842		
	Espagne	576	1.562	52	2 191		
	Italie	»	310	8,897	9.207		
	Suisse	»	»	3.958	3.958		
	Afrique (possessions anglaises)	806	»	»	806		
	Algérie	277	»	»	277		
	Réunion	426	504	»	930		
	Autres pays	509	220	»	730		
	Totaux pour 1893	2.606	8.112	20.458	25.667	1.788.265	
1894	Totaux pour 1894 (7 mois)	»	»	»	20.726	1.391.166	Chiffres provisoires

Nos exportations pour la Belgique viennent diminuer, dans une certaine proportion, le chiffre des importations de superphosphate belge chez nous. Ce sont surtout des superphosphates riches, solubles, que nous exportons dans ce pays-là.

Digitized by Google

Débouchés dans la Méditerranée. — L'Italie et l'Espagne sont deux acheteurs intéressants surtout pour nos industriels de la région du Midi, qui pourront traiter des phosphates de la Tunisie à bon compte et les réexporter dans la Méditerranée après les avoir transformés. L'usine littorale que la Compagnie de Saint-Gobain installe en ce moment sur les bords de l'étang de Thau (port de Cette), répond évidemment à ces perspectives d'avenir. Elle aura à lutter avec les superphosphates des usines installées déjà sur les lieux de consommation, notamment avec celles de Gênes et de Fiume, qui achètent déjà à Bône (Voir le tableau de la page 35).

Il convient de noter la part honorable que notre pavillon se réserve dans le total des exportations par mer des superphosphates français. Ce résultat était dû, en grande partie, du moins jusqu'en 1892, à la consommation assez régulière que font de cet article nos colonies à sucre des Antilles et de la Réunion. On sait d'ailleurs que cette industrie de sucre de canne subit en ce moment une crise grave, qui date malheureusement de longtemps et qui menace son avenir. Les superphosphates destinés à cet emploi spécial sont toujours des superphosphates à très haut titre.

Production des superphosphates en France en 1894. — On peut estimer pour l'année 1894 la production des superphosphates dans les diverses régions de la France de la manière suivante :

Région Nord	170.000 tonnes.
Paris et région du Centre	310.000 —
Sud et sud-ouest	220.000 —
Total	700.000 tonnes.

Statistique des pays étrangers.

Donnons en terminant un coup d'œil sur l'industrie des superphosphates dans les pays voisins, Angleterre, Belgique et Allemagne, et sur ses rapports avec la France.

Angleterre.

J'ai donné, à la page 75, le tableau de la production des phosphates naturels en Angleterre, de 1882 à 1893. Cette production tend à diminuer d'année en année et ne représente plus qu'une fraction infime des besoins de ce pays (1,10 p. 100.)

L'industrie des superphosphates anglais, qui est la première du monde comme tonnage annuel, ne vit que par l'importation des phosphates étrangers.

Voici un tableau instructif à cet égard :

Tableau des importations des phosphates naturels dans la Grande-Bretagne, de 1889 à 1893.

ANNÉES	IMPORTATION	PROVENANCE								OBSERVATIONS
		PRODUCTION de la Grande-Bretagne		FRANCE		CANADA		AUTRES PAYS (principalement Caroline du Sud et Floride)		
	Tonnes	Tonnes	P. 100 du total importé	Tonnes	P. 100 du total importé	Tonnes	P. 100 du total importé	Tonnes	P. 100 du total importé	
1889	341.547	20,328	5,95	71.965	21,10	25.898	7,50	243.684	71,40	
1890	384.721	18 295	4,78	38.946	10,10	23,619	6 10	322.156	83,80	Début de la Floride.
1891	260.906	10.164	3,91	19.652	7,55	14 271	5,48	266.983	86,97	
1892	319.187	12.396	3,87	17.226	5,38	7.538	2.35	294.423	92,27	
1893	328.461	3.353	1,10	36 780	11,21	5 190	1,58	286.491 (1)	86,11	

(1) Voici le détail de ce chiffre pour 1893 : Belgique, 62.298 ; États-Unis, 198.683 ; Antilles hollandaises, 5.636 ; Antilles anglaises, 7.690 ; autres pays, 12.184 ; total, 286,491.

Ce tableau explique la raison pour laquelle les affaires d'exploitation de phosphates naturels à l'étranger intéressent surtout les Anglais, ainsi que nous en avons vu un exemple instructif à propos des gisements de Tebessa.

Belgique.

La Belgique a produit, comme je l'ai dit précédemment, 290.000 tonnes de superphosphate en 1893.

Sur ce total, elle nous a envoyé 51.509 tonnes, soit 17,76 p. 100 de sa production.

La Belgique n'importe que peu de phosphates naturels étrangers en dehors de ceux qu'elle reçoit de France. Son industrie principale consiste à traiter les craies enrichies de Ciply, et elle n'achète en sus des phosphates riches de l'Oise et de la Somme que la quantité de phosphate riche étranger nécessaire pour relever les titres de ses phosphates locaux.

Elle consomme aussi beaucoup de scories basiques allemandes.

Allemagne.

L'Allemagne se trouve dans une situation analogue à celle de l'Angleterre au point de vue de ses approvisionnements de phosphates naturels.

Sa production de phosphates naturels diminue chaque année (Voir le tableau de la page 74).

Ce sont les gisements de la Caroline du Sud et de la Floride qui satisfont, en majeure partie, à ses besoins.

Voici le tableau résumant cette situation :

Tableau des importations des phosphates naturels en Allemagne, de 1889 à 1892.

ANNÉES	IMPORTATION totale	PROVENANCE					
		PRODUCTION allemande		FRANCE		AUTRES PAYS (principalement Caroline du Sud et Floride)	
	Tonnes	Tonnes	P. 100 du total importé	Tonnes	P. 100 du total importé	Tonnes	P. 100 du total importé
1889	86.268	41.750	48,51	20.629	23,90	65.639	76,10
1890	115.524	37.131	32,15	25.527	22,19	89 997	77,81
1891	92.411	34.179	36,90	9.641	10,48	82.770	89,52
1892	169.798	15.131	8,90	7.538	4,45	162.260	95,55

L'Allemagne importe en outre une quantité importante de superphosphate, mais la part des superphosphates français dans ce mouvement est des plus restreintes.

Il en est de même des exportations de superphosphates allemands; il en vient très peu en France.

Voici d'ailleurs le tableau résumé du commerce des superphosphates allemands de 1885 à 1892 :

Mouvement des importations et des exportations des superphosphates en Allemagne, de 1885 à 1982.

ANNÉES	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS	EXPORTATION en France
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1885	23.336	19.161	»
1886	33.337	26.484	»
1887	40.540	44.087	»
1888	81.582	60.507	»
1889	121.962	75.555	»
1890	148.440	56.253	4.477
1891	114.011	43.218	7.440
1892	86.851	56.075	1.082

Il ne faut pas perdre de vue que l'Allemagne (y compris le Luxembourg) a produit, en 1892, en outre des su-

Digitized by Google

perphosphates consignés dans ce tableau, une quantité de 2.045.796 tonnes d'acier basique représentant environ 600.000 tonnes de scories phosphatées à 16 p. 100 d'acide phosphorique.

Cette quantité s'est élevée à environ 680.000 tonnes en 1893.

Droits d'entrée sur les matières phosphatées en France: Néant. — Les importations par mer ne sont soumises qu'à la surtaxe d'entrepôt, dans le cas où elle est rendue exigible aux termes des lois qui définissent le régime des importations directes de produits d'origine extra-européenne.

ANNEXES.

ANALYSE DES PHOSPHATES.

Je ne m'occuperai pas ici de l'analyse complète des phosphates. On trouvera les diverses méthodes employées dans les traités de docimasie. Je rappelle à ce propos que le dosage du fluor dans les os fossiles ou récents ainsi que dans les phosphates, a été récemment l'objet d'une série d'études très intéressantes de M. l'Inspecteur général Ad. Carnot (*), non seulement au point de vue de la nouveauté des méthodes qu'à celui des résultats obtenus. M. Carnot a démontré en effet que, dans les os fossiles, la proportion de fluor va régulièrement en croissant à mesure que ces fossiles appartiennent à des âges géologiques plus reculés. Ce phénomène, qui était complètement inconnu avant la publication de ces travaux, peut servir de base pour déterminer l'âge probable des ossements et, jusqu'à un certain point, pour mesurer la durée relative des périodes géologiques.

Continuant ses recherches sur le fluor dans les phosphates, M. Carnot a démontré qu'il y avait dans les phosphates naturels des distinctions importantes à établir, au point de vue de leur teneur en fluor. Un certain nombre de gisements, notamment ceux du Quercy, n'en contiennent que des traces. Un travail complet, que M. l'Inspecteur général Ad. Carnot termine en ce moment, traitera cette question dans tous ses détails. Je ne puis que l'indiquer en passant.

Je me bornerai, pour ne pas sortir du cadre de ce travail, à décrire :

1° Le procédé rapide permettant de reconnaître sur le terrain si une roche contient du phosphate et son titre approximatif;

2° L'analyse d'un phosphate naturel par les deux méthodes les plus usuelles (phosphate ammoniaco-magnésien et phosphomolybdate);

(*) *Annales des mines*. Ad. Carnot : Nouvelle méthode pour le dosage du fluor, 9e série, t. III, 1893, p. 130; Recherches sur la composition générale et la teneur en fluor des os modernes et des os fossiles de différents âges, 9e série, t. III, 1893, p. 155.

Digitized by Google

3° Le dosage de l'acide phosphorique sous ses trois états, dans un superphosphate de chaux, contenant ou non de la magnésie ;

4° Analyse d'une craie phosphatée ;

5° Analyse d'une scorie Thomas.

1° ANALYSE RAPIDE SUR LE TERRAIN.

On verse dans un tube à essai 8 à 10 centimètres cubes d'acide azotique étendu de deux à trois fois son poids d'eau distillée.

On y ajoute une pincée de la terre bien pulvérisée que l'on veut essayer, 2 grammes par exemple.

On chauffe pendant dix minutes en agitant avec une baguette de verre.

On étend d'eau et on filtre. On verse la solution de sous-nitrate de bismuth. On juge au volume du précipité de la richesse du phosphate.

La solution de sous-nitrate de bismuth est ainsi composée :

Bismuth.	5	grammes.
Acide azotique.	20	—
Eau distillée.	150	—

Faire bouillir et filtrer.

On en trouve partout les éléments constitutifs.

2° ANALYSE D'UN PHOSPHATE NATUREL.

A. *Procédé par le phosphate ammoniaco-magnésien* (Instruction réglementaire pour les Stations Agronomiques et les Laboratoires agricoles de France).

On pulvérise très finement le phosphate à essayer.

On en pèse 1 gramme.

On l'attaque dans un ballon de 200 centimètres cubes par 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique.

On fait bouillir pendant dix minutes.

On ajoute ensuite 10 centimètres cubes d'une liqueur obtenue en dissolvant à froid de l'acétate de soude cristallisé dans l'acide acétique à 8° Baumé, jusqu'à saturation.

On amène le volume à 40 ou 50 centimètres cubes sans retirer du feu.

On projette dans la liqueur, quand elle est en pleine ébullition, 2 ou 3 grammes d'oxalate d'ammoniaque.

On cesse de chauffer au bout de quelques minutes.

On décante la liqueur éclaircie sur un filtre.

On lave le résidu insoluble à plusieurs reprises.

On rend, après refroidissement, la liqueur ammoniacale en y versant de l'ammoniaque et 20 centimètres cubes d'une solution de citrate d'ammoniaque pour maintenir en dissolution le fer et l'alumine.

On verse dans la liqueur, pour précipiter l'acide phosphorique, un excès du réactif magnésien dont la formule est donnée ci-après :

Digitized by Google

Le volume final doit être de 200 centimètres cubes et doit contenir 40 à 50 centimètres cubes d'ammoniaque à 22 degrés :

On recueille le phosphate ammoniaco-magnésien sur un filtre sans plis.

On le lave à l'eau ammoniacale saturée du sel précédent.

On sèche.

On incinère.

On pèse.

On multiplie le poids obtenu par le facteur 63,963, ce qui donne le taux p. 100 de l'acide phosphorique contenu dans la substance analysée.

Formule du réactif magnésien :

Chlorure de magnésium cristallisé . . .	200 grammes.
Chlorhydrate d'ammoniaque.	150 —
Eau.	1 litre.

5 centimètres cubes de cette liqueur précipitent $0^{gr},500$ d'acide phosphorique.

B. *Dosage de l'acide phosphorique par le molybdate d'ammoniaque.*

Ce procédé est exact à la condition de prendre certaines précautions. En effet, dans l'attaque des coprolithes ou des phosphates naturels, par l'acide azotique, on dissout presque toujours une certaine quantité de silice ou de silicates terreux.

Précautions à prendre. — Il faut, dès lors, prendre certaines précautions pour débarrasser complètement les liqueurs de la silice soluble qu'elles peuvent renfermer avant d'y doser l'acide phosphorique dissous par le molybdate, car, sans cela, on serait conduit à commettre de graves erreurs dans les dosages et même à trouver de l'acide phosphorique dans des matières qui n'en renferment pas de traces.

La silice peut se combiner avec l'acide molybdique pour donner naissance à un acide qui ressemble beaucoup par sa couleur, sa forme cristalline, sa volatilité, à l'acide phospho-molybdique, c'est l'acide silico-molybdique qui a pour formule

$$SiO^2.\ 12MoO^3.\ 26HO$$

et qui donne des sels cristallisés ayant pour formule générale

$$2KO.\ SiO^2.\ 12MoO^3 + nAq.$$

Quand on ajoute au molybdate d'ammoniaque soit de la silice dyalisée, soit un silicate dissous dans l'acide nitrique, soit de l'acide phosphorique ou un phosphate dissous dans le même acide, du silico-molybdate ou du phospho-molybdate prendront naissance et les deux sels ont même couleur. Ils sont jaunes

tous les deux et il n'est pas aisé de les distinguer à leur aspect extérieur, bien que le silico-molybdate soit cristallisé, tandis que le phospho-molybdate est amorphe.

La silice et l'acide phosphorique, en petites quantités, en présence de la liqueur molybdique, donnent d'abord tous deux naissance à une coloration jaune.

Le phospho-molybdate d'ammoniaque, insoluble dans l'eau et les acides, se dépose au bout d'un temps plus ou moins court; le silico-molybdate, soluble dans l'eau et les acides, mais insoluble dans les sels ammoniacaux en solution concentrée, se dépose seulement en partie, par refroidissement de la liqueur, et met un certain temps à se précipiter totalement.

En reprenant par l'ammoniaque le précipité obtenu et en pesant l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, on n'échappe pas à l'erreur due à la présence du silico-molybdate d'ammoniaque.

En effet, ce sel est décoloré par l'ammoniaque avec précipitation partielle de la silice; mais une notable quantité d'acide silicique reste dissoute et la liqueur filtrée, traitée par le mélange magnésien, donne naissance à un précipité blanc, gélatineux, de silicate de magnésie qui peut être confondu, à l'aspect et par quelques-unes de ses propriétés, avec le phosphate ammoniaco-magnésien. C'est donc du silicate de magnésie que l'on pèse au lieu et place du phosphate, et l'erreur commise au début de l'analyse se poursuit jusqu'au bout. Il faut, pour éviter cette grave cause d'erreur, amener à siccité la solution nitrique afin de rendre la silice insoluble.

Voici d'ailleurs le mode d'opérer :

On dissout la matière phosphatée dans l'acide nitrique.

On évapore à siccité pour rendre la silice insoluble.

On reprend par 20 centimètres cubes d'acide azotique et 20 centimètres cubes d'eau.

On laisse digérer à 100 degrés pendant dix minutes.

On ajoute à la liqueur qui contient l'acide phosphorique à doser assez de solution de molybdate pour qu'à une partie en poids d'acide phosphorique correspondent 50 parties d'acide molybdique. Comme le molybdate d'ammoniaque contient environ 83 p. 100 d'acide molybdique, pour $0^{gr},1$ de PhO^5, il faut employer environ 100 centimètres cubes de molybdate préparé comme il sera indiqué plus loin.

Un trop grand excès de molybdate n'empêche pas le dosage d'être exact, mais, à raison de l'acide molybdique qui peut rester dans le précipité et se dissoudre ensuite difficilement dans l'ammoniaque, il faut l'éviter.

On opère la précipitation à l'ébullition.

On filtre *immédiatement* le phospho-molybdate produit.

On lave le précipité jaune, séparé, après refroidissement, par filtration, avec un mélange de molybdate et d'eau (1 de molybdate, 3 d'eau) ou mieux avec de l'eau contenant 1 p. 100 d'acide nitrique.

On dissout le précipité jaune de phospho-molybdate d'ammoniaque sur le filtre avec de l'ammoniaque étendue et *chaude* (1 partie d'ammoniaque du commerce, 3 parties d'eau).

On neutralise la plus grande partie de l'ammoniaque employée en excès par l'acide chlorhydrique versé peu à peu jusqu'au moment où le précipité formé se redissout lentement et non plus instantanément.

On refroidit la liqueur avant d'y verser le mélange magnésien, parce que, à chaud, il se précipiterait des sels magnésiens basiques qui augmenteraient le poids du phosphate ammoniaco-magnésien.

On ajoute, pour précipiter, $0^{gr},1$ d'acide phosphorique, 10 centimètres cubes de mélange magnésien. Ces 10 centimètres cubes contiennent une quantité de magnésie double, environ, de celle qu'exige la précipitation de l'acide phosphorique.

On ajoute ensuite de l'ammoniaque caustique (environ un tiers du volume de la liqueur) en ayant soin toutefois que le volume total n'excède pas 100 à 110 centimètres cubes.

On filtre au bout de trois heures de repos.

On lave le précipité sur le filtre avec de l'eau ammoniacale (1 : 3) jusqu'à ce que la réaction du *chlore* ait complètement disparu dans la liqueur qui filtre.

On dessèche le filtre.

On sépare le phosphate ammoniaco-magnésien.

On brûle le filtre à part.

On calcine ensuite le précipité à la lampe Bunsen ordinaire, puis à la soufflerie.

On pèse.

On multiplie le résultat trouvé par le facteur 0,639.

Préparation du molybdate d'ammoniaque.

On dissout 100 grammes d'acide molybdique dans 400 grammes d'ammoniaque d'une densité de 0,95.

On filtre.

On reçoit le liquide, goutte à goutte, dans $1^{kg},5$ d'acide azotique de 1,20 de densité en agitant constamment.

On abandonne ce mélange pendant quelques jours dans un endroit chaud.

Il se forme un dépôt.

On décante la partie claire pour l'emploi.

Préparation de la liqueur magnésienne.

On fait dissoudre 50 grammes de carbonate de magnésie pur et 100 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque dans 120 centimètres cubes d'acide chlorhydrique additionné de 500 centimètres cubes d'eau.

On ajoute après dissolution 100 centimètres cubes d'ammoniaque à 22°.

On complète le volume de 1 litre avec de l'eau.

Digitized by Google

3° DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE D'UN SUPERPHOSPHATE SOUS SES TROIS ÉTATS, A SAVOIR : ACIDE SOLUBLE DANS L'EAU, ACIDE SOLUBLE AU CITRATE ET ACIDE INSOLUBLE DANS L'EAU ET DANS LE CITRATE.

Dosage de l'acide phosphorique total.

On attaque dans un ballon, à l'ébullition, 1 gramme de matière par 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 20 centimètres cubes d'eau.

On transvase après un quart d'heure d'ébullition, dans une capsule à fond plat.

On évapore à siccité pour éliminer la silice.

On reprend par 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 10 centimètres cubes d'eau.

On filtre.

On lave en ayant soin de ne pas dépasser le volume de 80 centimètres cubes.

On traite par l'ammoniaque, l'acide citrique et le chlorure de magnésium.

On agite.

On laisse reposer douze heures.

On recueille le précipité sur un petit filtre sans plis.

On lave à l'eau ammoniacale.

On dessèche à l'étuve.

On calcine.

On pèse.

On multiplie par le facteur 0,639.

Si le produit à analyser est un superphosphate d'os ou s'il est mélangé à des matières organiques, il faut au préalable procéder à l'incinération avec de la chaux.

Dosage de l'acide phosphorique soluble dans l'eau.

On prend 2 grammes de matière.

On les broie dans un mortier avec quelques centimètres cubes d'eau.

On verse le liquide dans un ballon jaugé de 100 centimètres cubes.

On rajoute cinq ou six fois de l'eau dans le mortier, en broyant chaque fois la matière solide qu'on y a laissée.

On fait tomber toute la matière dans le ballon.

On lave le mortier.

On complète avec les eaux de lavage le volume de 100 centimètres cubes.

On laisse digérer pendant une heure en agitant fréquemment le ballon bouché avec le doigt.

On verse sur un filtre qu'on recouvre d'une plaque de verre pour empêcher l'évaporation.

On prend exactement 50 centimètres cubes du liquide filtré.

On ajoute 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, puis de l'ammoniaque et de petites quantités d'acide citrique, enfin du chlorure de magnésium.

On agite.

On laisse reposer douze heures.

On recueille le précipité sur un petit filtre sans plis.

On lave à l'eau ammoniacale.

On dessèche à l'étuve.

On calcine.

On pèse.

On multiplie par le facteur 0,639, ce qui donne l'acide phosphorique soluble dans l'eau contenu dans 1 gramme de matière.

Dosage de l'acide phosphorique rétrogradé.

On met 1 gramme de supersphosphate dans un petit mortier de verre.

On humecte avec quelques gouttes de citrate d'ammoniaque.

On broie la matière de manière à la réduire à un grand état de division.

On rajoute par petites portions du citrate d'ammoniaque, en triturant constamment jusqu'à ce qu'on ait mis 40 centimètres cubes.

On verse dans un ballon jaugé de 100 centimètres cubes.

On rince le mortier avec de l'eau que l'on rajoute dans le ballon.

On complète enfin le volume de 100 centimètres cubes.

On laisse digérer pendant plusieurs heures en agitant fréquemment.

On laisse déposer.

On filtre rapidement.

On prend 50 centimètres cubes du liquide filtré.

On y verse 15 centimètres cubes d'ammoniaque et 15 centimètres cubes de chlorure de magnésium.

On agite.

On laisse déposer pendant douze heures.

On recueille le précipité sur un filtre sans plis.

On lave à l'eau ammoniacale.

On dessèche à l'étuve.

On calcine.

On pèse.

On multiplie le poids trouvé par le facteur 0,639.

On a ainsi l'acide phosphorique dit *assimilable* contenu dans $0^{gr},5$ de matière.

On ramène par le calcul chacun des trois résultats à 100 grammes de matière.

On obtient ainsi trois chiffres : le premier donne l'acide phosphorique total, le deuxième l'acide phosphorique soluble dans l'eau, et le troisième la somme de l'acide phosphorique soluble dans l'eau et de l'acide phosphorique rétrogradé : par de simples soustractions, il est aisé de déterminer les proportions de l'acide phosphorique sous les trois états.

En traitant directement par du citrate d'ammoniaque, on devrait dissoudre tout l'acide phosphorique qui existe à l'état soluble. Il en serait ainsi si le superphosphate ne contenait pas de magnésie, mais la présence de cet élément donne naissance à du phosphate ammoniaco-magnésien, insoluble dans le citrate,

Digitized by Google

et tout l'acide phosphorique correspondant à la magnésie échappera au traitement citro-ammoniacal.

La magnésie se trouvant dans la matière à l'état de sulfate ou de phosphate acide soluble dans l'eau, on pourra l'éliminer, au préalable, par un lavage et opérer le traitement par le citrate d'ammoniaque sur le résidu débarrassé de magnésie. Les deux liqueurs réunies après coup contiendront tout l'acide phosphorique qui a été modifié par l'action de l'acide sulfurique.

Voici comment on opère dans ce cas :

On pèse $1^{gr},500$ de superphosphate passé au tamis.

On les dépose dans un mortier en verre.

On ajoute environ 20 centimètres cubes d'eau distillée.

On délaye légèrement avec le pilon sans broyer.

On décante, après une minute de repos, sur un filtre sans plis appliqué sur un entonnoir reposant sur un ballon jaugé de 150 centimètres cubes.

On renouvelle l'addition d'eau et les décantations trois ou quatre fois, en opérant très rapidement.

On broye enfin très finement la matière.

On la recueille sur le filtre au moyen de la pissette.

On continue le lavage jusqu'à parfaire le volume de 150 centimètres cubes du ballon jaugé.

On verse le contenu du ballon dans un verre à pied.

On soutire au moyen d'une pipette, 50 centimètres cubes de la liqueur d'épuisement.

On précipite à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, comme il a été indiqué précédemment.

On introduit le filtre contenant la matière lavée dans un ballon jaugé de 150 centimètres cubes avec 60 centimètres cubes de citrate d'ammoniaque.

On laisse en digestion pendant une heure en délayant la matière par l'agitation.

On laisse reposer pendant douze heures.

On amène le volume à 150 centimètres cubes.

On agite.

On filtre.

On prélève 50 centimètres cubes.

On précipite à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Préparation du citrate d'ammoniaque.

On dissout 400 grammes d'acide citrique cristallisé dans une capsule, à froid, par une quantité suffisante d'ammoniaque à 22°.

On complète le volume de 1 litre avec de l'ammoniaque.

Analyse d'un superphosphate en présence de la magnésie.

On place 1 gramme de superphosphate dans un mortier.

On délaye dans 5 centimètres cubes d'eau.

On lave la pâte obtenue par décantation dans le mortier même, avec de très petites quantités d'eau.

On décante le liquide sur un petit filtre.

La magnésie qui se trouvait à l'état de sel soluble dans le superphosphate, se trouve, après cinq ou six lavages, tout entière dans la liqueur en même temps que l'acide phosphorique soluble dans l'eau.

On place le petit filtre dans le mortier avec la matière à traiter.

On additionne le tout de 40 centimètres cubes de citrate d'ammoniaque.

On triture.

On transvase le tout avec de l'eau dans un ballon jaugé de 100 centimètres cubes.

On complète le volume.

On laisse digérer une heure, en agitant fréquemment.

On filtre.

On recueille 50 centimètres cubes de la liqueur filtrée.

On amène, d'un autre côté, à 40 centimètres cubes le liquide provenant du lavage de l'eau.

On en prend 20 centimètres cubes.

On les ajoute aux 50 centimètres cubes de la solution citrique.

On précipite l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, et l'on atteint en bloc l'acide phosphorique dit *assimilable*, c'est-à-dire la somme du soluble dans l'eau et du soluble dans le citrate.

Dans le cas où l'on voudrait doser séparément ces deux formes de l'acide phosphorique, on n'ajouterait pas la solution aqueuse à la solution citrique et l'on ferait séparément l'analyse de chacune d'elles.

4° ANALYSE D'UNE CRAIE PHOSPHATÉE.

Dans certains phosphates, la chaux se trouve en si grand excès qu'elle apporte un trouble dans le dosage de l'acide phosphorique et rend souvent impossible le dosage par le procédé du phosphate ammoniaco-magnésien.

Voici comment on doit opérer pour séparer la totalité de la chaux :

On évapore la solution chlorhydrique jusqu'à un petit volume : 25 à 30 centimètres cubes.

On laisse refroidir.

On y verse de l'acide sulfurique dilué en faible excès, de manière à transformer la chaux en sulfate.

On ajoute 50 ou 60 centimètres cubes d'alcool à 92° qui précipitent à l'état insoluble le sulfate de chaux.

On agite.

On laisse déposer douze heures.

On filtre sur un petit filtre.

On lave le précipité avec un mélange d'une partie d'eau et de 2 parties d'alcool avec 3 p. 100 d'acide chlorhydrique.

On porte au bain de sable les liquides réunis.

On chauffe modérément pour chasser l'alcool.

On précipite dans cette liqueur, ne contenant plus de chaux, le phosphate par les procédés ordinaires.

5° ANALYSE D'UNE SCORIE THOMAS.

L'analyse des scories se fait comme celle d'un phosphate de chaux naturel, à la condition de transformer tout le fer en sesquioxyde :

On dissout 1 gramme de matière finement pulvérisée dans l'acide chlorhydrique bouillant.

On évapore à sec pour séparer la silice.

On reprend de nouveau par l'acide chlorhydrique.

On ajoute à l'ébullition de l'acide azotique, environ 5 centimètres cubes.

On fait bouillir jusqu'à disparition des vapeurs rutilantes.

On traite ensuite par l'ammoniaque, l'acide citrique et le chlorure de magnésium comme dans un dosage ordinaire.

Agitateur mécanique E. Bartmann. — Je signale en terminant les avantages de l'agitateur mécanique Bartmann pour activer la précipitation du phosphate ammoniaco-magnésien, qui exige en moyenne six heures pour être complète. Ce petit appareil, de construction très simple, rend de grands services dans les laboratoires agronomiques où on a fréquemment un grand nombre de dosages d'acide phosphorique à exécuter en peu de temps.

Cet agitateur exige très peu de force; le plus petit moteur mû par l'eau (4 à 5 mètres de pression) suffit pour l'actionner convenablement.

La vitesse la meilleure à donner à l'agitateur pour la précipitation est de 120 à 150 tours par minute : on peut aller à 200 tours sans que cette rapide agitation donne lieu à aucune projection de liquide au dehors des vases.

Dix minutes d'agitation sont plus que suffisantes pour produire la précipitatiom *complète* du phosphate ammoniaco-magnésien, dans l'analyse des phosphates et des superphosphates. Le précipité est nettement cristallin; il se dépose presque instantanément. Dès que l'agitation cesse, on peut filtrer le liquide. A défaut de moteur à eau ou autre, une poulie à manivelle suffit pour actionner l'appareil à la main.

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche I.

Carte géologique de la Tunisie et de la province de Constantine à l'échelle de 1 à 2.350.000, indiquant les limites des étages jurassique, crétacé et éocène inférieur, et la situation des gîtes de phosphates.

Planche II.

Fig. 1 à 7. — Coupes des gîtes de phosphates des environs de Gafsa.

Fig. 1. — Coupe nord-sud sur le bord méridional des affleurements de Gafsa.

Fig. 2 et 3. — Coupe sur le versant nord du soulèvement crétacé.

Fig. 4. — Coupe du Khanguet-Seldja.

Fig. 5. — Coupe du Khanguet-Jellabia.

Fig. 6 et 7. — Coupes du Djebel-Sehib.

Fig. 8. — Coupe du gîte de Guelaat-es-Snam.

Fig. 9. — Coupe du gîte de Nasser-Allah.

Fig. 10. — Coupe des gîtes de minerais de fer dévoniens des Asturies.

Fig. 11. — Diagramme indiquant les variations du prix des phosphates, de 1880 à 1894.

Planche III.

Fig. 1. — Carte des voies de communication de la Tunisie en 1894.

Fig. 2 et 3. — Plan et coupe des gîtes de phosphates de Sidi-Ayet.

Fig. 4. — Coupe de l'éocène de l'Oued-Ksob (région de Béja).

Fig. 5. — Croquis des gîtes de minerais de fer de la région du cap Peñas entre Gijon et Avilès (Asturies).

Planche IV.

Fig. 1. — Carte géologique de la Floride, indiquant la situation des gîtes et des exploitations de phosphates.

Fig. 2. — Diagramme indiquant les résultats obtenus en 1892 et 1893 dans le champ d'expériences du Parc des Princes.

Planche V.

Séchoir progressif et méthodique, système Émile Ruelle (coupes transversales et longitudinales).

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.

Pages

Considérations générales. 5
Division du travail 9

CHAPITRE I.

PHOSPHATES NATURELS.

I. France . . . .

Statistique des années 1886 et 1889 10
Nord de la France, Pas-de-Calais, Cambrésis, Somme et Oise . . 11
Ardennes, Meuse et Marne 14
Lot et départements voisins 15
Gard et Ardèche 16
Drôme et Isère. 17

II. Algérie et Tunisie 18

Géologie générale de la Tunisie 20
Description du terrain éocène inférieur 21
Résumé 23
Nature des phosphates 23
1° Phosphates marneux, coprolithes 23
2° Phosphates calcaires. 25
Description des principaux gisements tunisiens 27

1° *Phosphates du sud de la Tunisie* 27

Gisement des environs de Gafsa. 27
Puissance des couches sud. 29
Teneur de ces phosphates 30
Cubage 32
Djebel Jellabia et Djebel Sehib. 33
Teneurs et cubage. 34

Pages

2° *Phosphates du centre de la Tunisie et de la frontière algérienne* 34

Gisements des environs de Tebessa 34
Mouvement d'exportation des phosphates par le port de Bône . . 35
Géologie 36
Exploitation : Compagnie Crokston. 36
Transports par chameaux 37
Compagnie Jacobsen. 38
Prix de revient 39
Teneur. Limite d'exploitabilité. 39
Exportation probable en 1895 40
Gisement du Guelaat-es-Snam 41
Teneur. Cubage 43
Région d'Haydra 44
Région de Thala 44
Région de Nasser-Allah 45
Teneur de ce gisement 46

3° *Phosphates de la région nord* 46

Environs de Soukharas. Djebel-Dekma. 46
Phosphates de grès verts. 47
Gisement du Kef 48
Région de Béja. 49
Gisement de Sidi-Ayet 49
Description des couches. Teneurs 50
Apatites de Zaghouan et du Dj. Ressas. 53
Régime des exploitations de phosphate en Algérie 54
Nécessité d'une réglementation. 54
Régime tunisien. 57
Modèle d'arrêté pour permis de recherches 58
Réglementation à créer. 59
Statistique des permis de recherches délivrés 60
Chemins de fer de Tunisie. 60
Tarif spécial du Bône-Guelma. 62
Nouveau réseau tunisien. 63
Ports tunisiens. 64
Chemin de fer de Gafsa à Sfax. 65
Mouvements du port de Sfax en 1893 65
Autres phosphates d'Algérie. 67
Gisements de phosphate de la province d'Oran 69
Mode de gisement 69
Formation de ces gîtes. 71
Teneur de ces phosphates 72

CHAPITRE II.

PHOSPHATES NATURELS A L'ÉTRANGER.

Pages

I. Europe . . . 73

Russie . . . 74
Allemagne. Statistique de 1882 à 1892 . . . 74
Angleterre. — de 1882 à 1893 . . . 74
Belgique. — de 1877 à 1893 . . . 75

II. Amérique du Nord . . . 75

Considérations générales sur la production des phosphates américains . . . 76

Canada . . . 78

Géologie. Mode de formation . . . 78
État décroissant de l'exploitation . . . 81
Statistique de la production de 1878 à 1893 . . . 82

Caroline du Sud . . . 83

Formation et mode de gisement des nodules . . . 83
Diminution de la production. Statistique de 1867 à 1893 . . . 85
Redevance due à l'État . . . 86
Prix de revient en 1892 . . . 86
Cyclone du 27 août 1893 . . . 87
Diminution de 50 p. 100 de la redevance . . . 88
Capacité actuelle de production de la Caroline du Sud . . . 88
Répartition des phosphates de la Caroline du Sud dans la consommation . . . 89
Ports d'exportation . . . 89
Analyse de ces phosphates . . . 90

Gisements de la Floride . . . 90

Historique . . . 90
Topographie . . . 92
Géologie. Éocène, Miocène, Pliocène. Terrains actuels . . . 93
Description des gisements de phosphate . . . 97
Phosphate en roche (Hard rock) . . . 97
Aire de gisement du Hard rock . . . 98
Soft phosphate . . . 99
Phosphates miocènes . . . 100
Land pebble . . . 101
River pebble . . . 101
Origine des phosphates de la Floride . . . 103
Théorie générale de la formation des gisements de phosphates . . . 103
Travaux de Bischof . . . 106

Digitized by Google

Pages

Solubilité du phosphate de chaux dans l'eau saturée d'acide carbonique 107
Théorie de M. Shaler 108
Exploitation des phosphates de la Floride 110
1° Hard rock. Travail à l'excavateur. Lavage 110
Analyses de Hard rock phosphates produits en 1893 112
2° Soft phosphate 112
3° River pebble 112
Emploi de dragues 113
Dragues à succion 113
4° Land pebble 114
Exploitation par dragues 114
Exploitation hydraulique 115
Analyse du Land pebble 116
Embarquements 116
Exportations de la Floride, de 1888 à 1893 117
Répartition de ces phosphates dans la consommation 117
Création rapide des ports d'exportation 118
Travaux publics aux États-Unis 119
Prix de revient : 1° Hard rock. 2° Pebble 120
Noms et production des principales compagnies exploitantes en Floride, en 1892 122
Redevance à l'État 123
Acte du 11 juin 1891 124

Résumé 126

Importation des phosphates aux États-Unis de 1883 à 1893 126

Phosphates du Tennessee 127

CHAPITRE III.

PHOSPHATES INDUSTRIELS.

I. Superphosphates et phosphates précipités 135

Définitions. Superphosphate. Principe de sa fabrication 135
Phosphate précipité. Fabrication 136
Superphosphates concentrés dits *solubles* 137
Fabrication 137
Prix courant des superphosphates en avril 1894 139
Prix courant des phosphates naturels, de 1880 à 1893 140
Mesure de l'assimilabilité 140
Mode d'application 141
Expériences de M. Schlœsing 142
Fabrication des superphosphates 143
Conditions générales que doit réunir une usine à superphosphates . 146
Rétrogradation 147

Digitized by Google

Pages

Usines françaises. Compagnie de Saint-Gobain. 148
Usines belges. Compagnie Solvay 149
Traitement de la craie phosphatée 150
Procédés chimiques. Procédé Ortlieb 151
Procédés Lhôte, Pellet, etc. 152
Procédé Solvay. 153
Procédés mécaniques. 154

1° *Lévigation et décantation* 154

Séchage. Séchage sur plaques.. 155
Séchoir Ruelle 156
Mouture 157

2° *Classement par courant d'air* 159

Procédé appliqué à l'usine d'Étaves 159

II. Scories phosphatées du convertisseur Thomas. (*Procédé basique.*). 162

Considérations générales. 162
Production des fontes phosphoreuses. — Minerais. 164
1° En France.. 164
Gisements de Meurthe-et-Moselle. 164
District de Caen. — État géologique. 166
Composition du minerai 167
2° Allemagne et Belgique. 168
Usines du bassin de la Ruhr. 168
Port de Rotterdam. 169
Batellerie sur le Rhin 169
3° Suède. 170
Gisements de Gelliwara. 170
4° Angleterre. 170
Production du minerai de fer en Angleterre, de 1880 à 1892 . . . 173
5° Espagne. 173
Minerais de fer des Asturies 173
Industrie métallurgique actuelle en Asturies. 173
Composition des minerais dévoniens des Asturies 174
Mode de gisement 175
Prix de revient. 176
Emploi de ces minerais. 176
Mode de traitement des minerais phosphoreux. 177
Teneur en phosphore. 177
Teneur en silicium. 179
Garnissages basiques. 179
Manganèse 180
Carbone 180
Soufre 181

Digitized by Google

Pages

Nature de l'acier basique. 181
Scories de déphosphoration. 181
Tableau de M. Fletcher. 182
Analyse de diverses scories basiques 183
Formule de traitement d'Ougrée. 184
Essai des tôles d'Ougrée. 185
Broyage des scories 186
Prix de vente. Bénéfice. 187
Syndicat des usines produisant les scories Thomas 188
Statistique de la production des aciers et scories basiques 190
Tableaux de cette production de 1878 à 1893. 191
Production de l'acier basique au convertisseur et sur sole, de 1890 à 1893 191
Production des scories basiques, de 1890 à 1893 192
Production détaillée pour chaque pays. 192
Allemagne, Luxembourg, Angleterre 192
France, Autriche-Hongrie, Belgique, Russie et États-Unis. 193
Liste des usines qui emploient le procédé Thomas 193
Assimilation, par les végétaux, de l'acide phosphorique des scories basiques 194
Travaux de M. Otto. 195
Constitution chimique des scories basiques 195
Influence de l'état de division de la scorie. — Tableaux 196
Travaux de M. Wagner. 198
Travaux de M. Hogermann. 198
Mode d'emploi des scories basiques 199
Travaux de M. Petermann 202
Tableau donnant la solubilité de la craie grise dans diverses solutions 204
Emploi direct des phosphates naturels. 204
Essais récents de M. Grandeau 205
Cultures du champ d'expériences du Parc des Princes 206
Conclusions générales relatives à l'assimilation de l'acide phosphorique par les végétaux 210

CHAPITRE IV.

Conclusions et statistiques.

Ressources disponibles en phosphates. 211
Consommation des phosphates dans le monde 212
Estimations de M. Wyatt. 213
Statistique de M. Lindet 214
Autre mode d'estimation. 216
Notions sur la teneur du sol en acide phosphorique. 216
Notions sur les *affinités ménagées*. 217

Digitized by Google

Pages
De l'accumulation de l'acide phosphorique dans le sol. 219
Conclusions. 219
De la récupération du phosphore dans les résidus 219
Particularités du marché des phosphates 221
Données générales sur le commerce des phosphates. 221
Transformations dans le mode des échanges en général. 224
Baisse générale des frets. 224
Conséquences. 224
Nécessité absolue d'augmenter le rendement des récoltes de céréales en France. 224
Récolte de 1893 en avoine et orge 225
Parallèle avec l'Angleterre. 226
Sécurité produite par cet accroissement de rendement 227
Phénomène des changes élevés sur certains pays 227
Dépréciation du métal argent. 228

Statistique générale des phosphates en France 228

I. **Phosphates naturels**. 229

Tableau des importations et exportations (1889-1894) 229
Tableau donnant la destination des phosphates naturels exportés (1889-1894). 230
Tableau donnant l'origine des phosphates naturels importés (1889-1894) 232

II. **Superphosphates** 233

Tableau des importations et exportations (1890-1894). 233
Tableau donnant l'origine des superphosphates importés (1890-1894) 234
Tableau donnant la destination des superphosphates exportés (1890-1894) 235
Débouchés dans la Méditerranée. 237
Production des superphosphates en France, en 1894 237

Statistique des pays étrangers. 238

Angleterre 238
Tableau des importations des phosphates naturels dans la Grande-Bretagne, de 1889 à 1893 238
Belgique 239
Allemagne 239
Tableau des importations des phosphates naturels en Allemagne, de 1889 à 1892. 240
Tableau des importations et exportations des superphosphates en Allemagne, de 1885 à 1892 240
Droits d'entrée sur les matières phosphatées en France 241

Digitized by Google

ANNEXES.

	Pages
Analyse des phosphates	242
1° Analyse rapide sur le terrain	243
2° Analyse d'un phosphate naturel	243
(A) Par le phosphate ammoniaco-magnésien	243
(B) Par le molybdate d'ammoniaque	244
Précautions à prendre	244
3° Dosage de l'acide phosphorique d'un superphosphate, sous ses trois états, soluble dans l'eau, soluble au citrate, et insoluble	247
Analyse d'un superphosphate en présence de la magnésie	249
4° Analyse d'une craie phosphatée	250
5° Analyse d'une scorie Thomas	251
Agitateur mécanique E. Bartmann	251
Explication des planches	252

Digitized by Google

BULLETIN.

LES RICHESSES MINÉRALES DE LA COLOMBIE.

Les principales mines exploitées en Colombie sont des mines d'or, d'argent et de platine (*).

Or.

La production de l'or en Colombie était, jusqu'en 1848, c'est-à-dire jusqu'à la découverte des gîtes de Californie et d'Australie, la plus importante du monde, après celle du Brésil, les chiffres approximatifs étant, d'après Sœtbeer, 3.543 millions de francs pour la Colombie contre 3.559 millions pour le Brésil. Si l'on poursuit le calcul jusqu'en 1893, on voit que la Colombie, avec 4.403 millions, dépasse le Brésil (3.632 millions) et n'est surpassée que par les États-Unis (10.203 millions), l'Australie (8.754), la Russie (4.710). C'est assez dire l'importance des gîtes aurifères de ce pays qui, en 1891, ont produit (d'après l'*Engineering*) 5.225 kilogrammes d'or; en 1892, 5.234 kilogrammes valant 18 millions.

Cette industrie de l'or est cependant soumise à certaines restrictions légales, contre lesquelles les mineurs protestent vivement, en faisant remarquer que l'or représente à lui seul plus du cinquième des exportations totales de la Colombie. Actuellement, en effet, les entrepreneurs de mines ne peuvent utiliser un cours d'eau pour le lavage des alluvions qu'après avoir assuré l'alimentation en eau potable des riverains et, sur la plainte d'un seul village réclamant contre une diminution dans ses ressources en eau, une industrie déjà organisée peut être

(*) Nous avons, dans notre *Traité des Gîtes min. et métal.*, mentionné, en outre, des gîtes d'émeraude (I, 241) et de mercure (II, 724). Sur l'or, voir (II, 912); sur le platine (II, 1000). Il conviendrait encore de citer les salines de Santa Rosa, etc. (Reclus, XVIII, p. 364 et 391). La plupart des renseignements fournis par le mémoire anglais que nous allons analyser ont été eux-mêmes extraits d'un ouvrage de Don Vicente Restrepo sur les mines de Colombie.

suspendue pendant toute la durée d'une procédure souvent fort longue. En août 1893, on a fermé ainsi la *Columbian hydraulic* qui produisait plus de 32.000 francs d'or par mois (*); cependant un décret récent a un peu atténué ces inconvénients. En Californie, on sait que des conflits du même genre se sont produits entre mineurs et agriculteurs et ont été, le plus souvent, tranchés au profit des agriculteurs; mais là ceux-ci avaient à se plaindre, non seulement d'une perte en eau insignifiante, mais surtout d'apports d'alluvions énormes, venant du lavage des couches aurifères, qui venaient ruiner une industrie agricole elle-même très florissante.

En fait, plus des trois quarts de l'or extrait viennent des rivières et sont exploités par les gens du pays. Les filons qui produisent le reste, sont, en général, entre les mains de sociétés étrangères, en majeure partie anglaises, parfois aussi françaises. Quelques entreprises françaises, notamment sur les alluvions de la rivière Nechi, ont été, dans ces dernières années, assez malheureuses.

Sur les neuf départements qui divisent la Colombie, les seuls importants comme production d'or sont Antioquia, Cauca, Tolima, Panama; ceux de Bolivar, Magdalena, Santander, Boyaca, Cundimarca (c'est-à-dire tout l'Est du pays), n'ont qu'une extraction insignifiante.

Au centre de la Colombie, ANTIOQUIA (capitale Medellin) fournit actuellement près des deux tiers de l'or colombien (**). Plus de 2.600 concessions de mines y ont été instituées.

En 1858, la production d'or et d'argent aurifère y était de 7.800.000 francs; en 1882, elle a été de 13 millions; en 1890, de 14.560.000 francs. Le nombre des mineurs travaillant aux alluvions est plus du triple de celui des mineurs au filon.

Il existe (du nord au sud) des filons d'or à Zaragoza, Amalfi, Remedios, Anori, Yarumal, Angostura, Santa Rosa de los Osos (***), etc.; les alluvions aurifères sont surtout dans le bassin du Pozoé et du Nechi au nord de Medellin. C'est sur le Nechi que des Français ont essayé, en 1887, d'établir un dragage méthodique.

Les mines de *Zaragoza*, déjà exploitées au XVIIe siècle, pro-

(*) *Statistical supplement of the Engineering*, 1893, p. 330 et 333.

(**) Voir, dans la *Géographie universelle de Reclus*, XVIII, p. 363, une carte des régions aurifères d'Antioquia. En 1887, M. Moulle a publié un rapport très favorable sur les gisements de cette région.

(***) Von Schenck, *Petermanns Mittheilungen*, 1883, Heft, III.

Digitized by Google

duisaient alors environ 500 kilogrammes d'or par an. En 1890, les mines de Frontino et Bolivar, exploitées par des Anglais dans ce district, ont produit $76^{kg},5$ d'or; en 1891, environ 95; dans les six premiers mois de 1893, 1.363.000 francs d'or contre 1.340.000 dans les six derniers mois de 1892.

Dans le district de Remedios, la compagnie française de Ségovie exploite les mines de Cristales et San Nicolas.

Nous reparlerons, à propos de l'argent, des mines de Zancudo, à l'est de Medellin.

A l'ouest de Medellin, la vallée du Cauca, où se trouve la ville d'Antioquia, possède également des mines d'or.

Le département de CAUCA (capitale Popayan), à l'ouest de celui d'Antioquia, passe pour encore plus riche que lui en or; mais la difficulté d'accéder aux gisements, l'insalubrité fréquente du climat et le haut prix de la main-d'œuvre ont arrêté le développement industriel du pays. Les districts miniers sont surtout ceux de Choco, Barbacoas et Supia. A Supia, les mines de Marmato ont, dit-on, occupé plusieurs milliers d'Indiens avant la conquête espagnole; les Anglais les ont reprises depuis 1824.

Dans le district de Choco, on a travaillé sur les alluvions, de 1654 à 1851 (date de l'abolition de l'esclavage). Ces alluvions formeraient, d'après des descriptions publiées en 1879 et 1883, par un ingénieur anglais, M. Robert White, des couches quaternaires très régulières occupant un espace de 600 milles carrés dans le bassin du San Juan, en aval de Sipi, et seraient loin d'être épuisées (notamment les bancs de poudingues laissés de côté comme trop durs par les Espagnols). Ce district de Choco a, de 1654 à 1890, produit 712 millions d'or.

Les mines de Barbacoas ont également une très ancienne réputation.

Il y a aujourd'hui, dans ce district, deux ou trois sociétés nord-américaines (en particulier à Cargazon) qui ont peu d'importance.

Une compagnie, également américaine, formée, en 1880, au capital de 3 millions pour draguer l'Atrato, n'a eu aucun succès.

Le département de TOLIMA (capitale Neiva), situé au sud-est de la Colombie, sur le haut cours du Magdalena, principal fleuve du pays, quoique moins anciennement célèbre que les précédents, est celui où les Anglais et les Américains du Nord ont fondé le plus d'entreprises dans ces derniers temps (*). Les mines

(*) Le rapport analysé ne donne sur elles aucun détail.

de Mariquita, au nord de ce département (nord-ouest de Bogota), étaient jadis les plus célèbres; nous verrons bientôt que l'une d'elles, celle de Frias, donne aujourd'hui des quantités d'argent considérables.

Là se trouve aussi la principale mine de fer de Colombie, celle de Pacho, près des sources du Rio Negro (dans un pays célèbre parmi les chercheurs d'orchidées).

Le département de Panama et de Darien a fourni autrefois beaucoup d'or, notamment à Santa Cruz de Cana. En 1853, un Français, M. Émile Lebreton, essaya un moment de reprendre cette mine; une tentative, faite en 1880 par des Américains, n'eut pas plus de succès. En 1877, M. Bonaparte Wyse, a étudié également ces gisements. Enfin, en 1877, une compagnie anglaise, la Darien Gold Mining C°, a essayé d'exploiter les filons de cette région, mais ne passe pas pour avoir réussi.

Argent.

La valeur de l'argent extrait en Colombie depuis la conquête espagnole n'atteint pas 6 p. 100 de celle de l'or. Cela tient à ce que, jusqu'à nos jours, on ne s'est attaqué qu'aux gisements miniers particulièrement faciles (alluvions aurifères ou affleurements de filons d'or très riches). Ce n'est guère qu'à partir de 1873 que la production d'argent a commencé à s'accroître. Grâce surtout aux mines de Marmato et Supia (Cauca) et de Mariquita (Tolima), l'extraction a atteint, en 1884, 6.500.000 francs. Après une baisse produite par l'appauvrissement de ces mines, c'est à peu près le chiffre auquel on est revenu en 1891 (31.232 kilogr. d'après l'*Engineering*).

Parmi les mines d'argent les mieux connues et les plus prospères, on peut citer celles du district de *Zancudo* (Antioquia ou Tolima), sur la ligne projetée de Medellin (capitale d'Antioquia) à Puerto Berrio, sur le Magdalena. Les mines de El Cateador, Los Chorros et El Zancudo, dans ce district, occupent environ 820 hommes. On y exploite un réseau de filons donnant de l'argent aurifère. Le charbon utilisé vient des régions voisines de Titiribi, Amaga, Fredonia et surtout de Sitioviejo, dont la houille donne un bon coke. Dans les deux années 1888 et 1889, on a extrait 18.500 tonnes de minerai ayant donné 5.200.000 francs d'or et d'argent. La même compagnie, qui exploite ces mines, a des mines de charbon et des usines métallurgiques occupant 530 hommes.

Jusqu'à ces derniers temps, les principales mines d'argent, après celles de Zancudo, étaient celles du district de *Marmato et de Supia* (Cauca).

Dans cette région, les filons d'argent aurifère du Cerro de Loaiza y Chabuquia ont produit plusieurs millions d'or et d'argent entre 1870 et 1890; ils sont aujourd'hui épuisés; mais la Western Andes Mining C° exploite leurs prolongements (Echandia, Loarizita, San Antonio).

On a commencé récemment l'exploitation d'une riche mine d'argent aurifère à El Diamante (Antioquia).

Les mines de *Mariquita* (Tolima) ont été découvertes en 1551; il y avait alors trois filons principaux donnant des minerais à 3 ou 4 kilogrammes d'argent à la tonne. Dans l'une d'elles, Santa Ana, il y avait même, dit-on, des minerais à 1 ou 2 p. 100 d'argent; cependant une série de tentatives, faites en 1826, 1846 et 1867 pour la reprendre, n'ont eu aucun succès. Au contraire, la mine Frias, reprise en 1871, a produit, en douze ans, 1.600.000 onces d'argent et, en 1892, on est arrivé à un bénéfice net de 2.700.000 fr. avec une extraction représentant 4.300.000 francs. Cette mine, qui est descendue aujourd'hui à 300 mètres de profondeur, passe pour la principale, non seulement du département, mais de la Colombie. En 1893, elle a produit environ 17 tonnes de concentrés par mois à 300 onces d'argent par tonne.

Dans le département de Darien, l'ancienne mine de *San Sebastian de la Plata* (Esperitu Santo) a donné lieu à beaucoup de légendes; une tentative pour la reprendre, en 1848, a été malheureuse.

Platine.

Le platine de Colombie, qui a été le premier découvert, avant celui de l'Oural, a commencé à attirer l'attention en Europe vers 1748. De 1778 à 1788, on en récolta environ 2.000 kilogrammes dans le département de Choco, surtout dans les alluvions de la rivière Opagado, affluent de l'Atrato.

La production actuelle de ce département représente environ 260.000 francs par an; les deux tiers viennent de la municipalité de San Juan, le reste d'Atrato qui fournit un métal inférieur.

La platine de Choco tient de 80 à 85 p. 100 de platine pur et son prix, qui était, il y a quelques années, de 650 francs le kilogramme, a monté récemment à 900 francs.

Mercure (*).

Nous ajouterons qu'une veine de cinabre a été trouvée près de Quindiu en Colombie, dès 1786, à plus de 3.000 mètres au-dessus de la mer et a été reprise en 1886. Le cinabre forme des veines dans des schistes et chloritoschistes paléozoïques recoupés par un large dyke de diorite avec lequel, d'après M. Halse, elles seraient en relation. Les imprégnations cinabrifères dans les plans de joints des schistes ont une teneur qui peut atteindre 1/2 à 1 1/2 p. 100.

(Extrait par L. de Launay, ingénieur des mines, du *Rapport n° 331 au Foreign Office*, juin 1894, et complété d'après le *Statistical Supplement de l'Engineering*, etc.)

(*) Voir Edward Halse, Meeting of the North of England Institute of mining Engineers, *Statistical Supplement de l'Engineering*, 1893, t. II, p. 552.

Digitized by Google

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

ERNEST MALLARD

MEMBRE DE L'INSTITUT, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

Par M. A. DE LAPPARENT.

Si jamais il devenait nécessaire de justifier contre quelque attaque l'institution du Corps des Mines, aucun témoignage ne serait plus explicite en sa faveur que celui qui resplendit dans la carrière de Mallard.

Tour à tour ingénieur, professeur, géologue, minéralogiste, physicien, associé aux premiers conseils du ministère, Mallard a rendu les plus grands services à l'administration et à l'industrie, en même temps qu'il procurait à la science française l'occasion d'un triomphe exceptionnel. Son exemple a montré, plus clairement que jamais, ce qu'il est permis d'attendre d'un esprit d'élite, quand les ressources de la puissante éducation polytechnicienne sont mises au service des plus remarquables facultés naturelles.

Un autre enseignement, encore plus réconfortant, ressort de cette existence si sereine et si digne : c'est que, pour l'honneur de notre siècle, il est des cas où le mérite parvient à s'imposer par sa seule vertu, et où les suprêmes récompenses viennent spontanément à sa rencontre, sans qu'il lui en coûte ni un effort ni un sacrifice.

Digitized by Google

Nul n'a moins cherché le bruit que Mallard; sa modestie était sans égale, comme sa science, et personne n'a plus complètement, nous ne dirons pas dédaigné, mais plutôt ignoré systématiquement, l'art de se faire valoir. Condamné, par la nature toute particulière de ses recherches, à n'être pleinement compris que d'un petit nombre de spécialistes, il n'a jamais souhaité d'autre estime que celle de ses pairs. Mais celle-là lui est venue si complète et si franche, qu'elle a entrainé l'adhésion sans réserve de tout le monde savant.

A la vérité, la foule manquera toujours à ce cortège. Mallard n'en avait cure, et il ne conviendrait pas de rechercher, pour sa mémoire, un genre de triomphe qu'il n'ambitionnait pas de son vivant. Toutefois, précisément parce qu'il a toujours fui les manifestations bruyantes, c'est un devoir pour ses contemporains de le remettre en pleine lumière, et de chercher à fixer, ne fût-ce que pour la gloire du corps dont il a fait partie, tous les traits par lesquels sa figure mérite l'admiration.

François-Ernest Mallard naquit le 4 février 1833 à Châteauneuf-sur-Cher; mais toute son enfance s'est écoulée à Saint-Amand-Montrond, où son père exerçait la profession d'avoué. Il semblerait qu'une aussi petite ville dût être un milieu bien peu favorable à la formation intellectuelle d'un écolier. Les dispositions que l'enfant montra de très bonne heure, et notamment son goût exceptionnel pour la lecture, auraient pu faire naître chez ses parents l'idée de se séparer de lui, pour développer ses facultés dans quelque établissement en renom. Bien leur prit de n'en rien faire; car il y gagna de conserver, avec l'intelligente direction d'une mère vigilante et dévouée, le bénéfice d'une sollicitude qui se montra particulièrement efficace : celle du vieux principal du collège, homme d'expérience et de savoir, tout heureux

de prouver qu'on avait eu raison en lui laissant le soin de cultiver un aussi riche fonds.

L'élève demeura jusqu'à quatorze ans sous ces bienfaisantes influences; et quand enfin, en octobre 1847, il dut venir chercher au collège de Bourges l'indispensable complément de ses études, il emportait de Saint-Amand des impressions profondément gravées dans son cœur : d'abord un vif amour de la famille, qui devait le ramener avec une prédilection constante au foyer natal; ensuite le goût du travail pour lui-même, sans recherche d'amour-propre, sous l'empire d'une impulsion personnelle qui n'avait même pas besoin d'être aiguillonnée par l'émulation.

Dès son arrivée à Bourges, Mallard fut classé parmi les premiers. En 1849, ayant achevé sa rhétorique, il entra d'emblée en mathématiques spéciales, ce qui ne l'empêcha pas de conquérir, en avril 1850, le diplôme de bachelier ès lettres. Après avoir ainsi profité pendant un an de l'excellent enseignement de M. Ventejols, dont il a toujours gardé un souvenir reconnaissant, il vint à Paris pour suivre, comme élève de l'institution Jauffret, les cours du lycée Charlemagne, et en 1851 il se voyait admis à l'École polytechnique. Il en sortit en 1853, parmi les premiers, en qualité d'élève-ingénieur des mines.

Dès le mois de mai 1856, Mallard, qui avait encore six mois à attendre avant de recevoir le grade d'ingénieur de 3e classe, fut chargé du sous-arrondissement minéralogique de Guéret. Il se fit remarquer de suite par son application au service, et mérita que l'inspecteur général de la division, M. Marrot, le signalât comme celui des jeunes ingénieurs dont il appréciait le plus les rapports. Son intelligence, son jugement, ses aptitudes technique et scientifique, la maturité précoce qu'il apportait à l'examen des affaires, tout le désignait à l'estime de ses

Digitized by Google

chefs hiérarchiques. En même temps, il profitait de ses tournées pour se familiariser avec la géologie du Limousin. Aussi, lorsque le cours de géologie et de minéralogie devint vacant à l'École des mineurs de Saint-Étienne, ce poste lui fut-il accordé par une décision du 1er février 1859. A la fin de la même année, il était élevé à la 2e classe de son grade. Quelques mois auparavant, le conseil général de la Haute-Vienne lui avait confié l'exécution de la carte géologique du département et, en 1861, l'infatigable ingénieur se faisait donner la même mission pour la Creuse (*).

C'était de sa part un vrai courage de s'attaquer à ce territoire monotone, presque exclusivement composé de terrains cristallins, dont l'étude allait exiger des courses pénibles, dans un pays dénué de ressources, à une époque où la détermination des roches se heurtait à mille difficultés. Mallard y employait tous ses moments de loisir, intrépide à la fatigue, et attentif à ne laisser échapper aucun détail. Par moments, lorsqu'il passait à proximité du Dorat, une satisfaction lui était donnée : celle de venir se retremper dans l'hospitalité de son vieux maitre. L'ancien principal du collège de Saint-Amand avait pris sa retraite dans cette ville, et le brillant élève formé par ses soins se plaisait à lui apporter le témoignage de sa reconnaissante affection.

Les explorations furent poursuivies jusqu'en 1867. A cette date, Mallard était en mesure d'envoyer à l'Exposition universelle la minute d'une carte au 80.000e, où toutes les variétés de granite, de schistes cristallins et de roches diverses avaient été soigneusement délimitées. Deux ans plus tard avait lieu la publication définitive de

(*) Les dates qui viennent d'être indiquées sont celles qui semblent résulter des tableaux annexés aux états annuels du personnel des mines. Mais il est possible qu'en fait Mallard ait été investi plus tôt de ce double mandat.

Digitized by Google

cette belle carte. Quant à celle de la Creuse, achevée en 1870, elle est restée inédite, le conseil général du département ayant refusé le crédit nécessaire à l'impression. Mais le service de la Carte géologique détaillée de la France en a reçu le dépôt, et a pu l'utiliser pour la confection du tableau d'assemblage au millionième. D'autre part, elle a été communiquée à MM. Carez et Vasseur en vue de leur carte de France au 500.000ᵉ.

L'un des principaux mérites que Mallard ait déployés dans l'exécution de ses travaux géologiques est la précision avec laquelle il a su distinguer, les unes des autres, les roches cristallines du Plateau central. Vingt-deux espèces différentes de masses minérales sont représentées sur ses cartes, parmi lesquelles sept variétés de granite. Le gneiss rouge a été délimité à part sous le nom de *gneissite*. A l'exemple de Gustave Rose et de Delesse, l'auteur a séparé le granite ancien ou primitif (granitite), caractérisé par le mica noir, d'un autre granite à deux micas, sensiblement plus récent, et ayant comme terme extrême le granite à mica blanc. Mais tandis que de précédents auteurs regardaient ce granite comme un produit de métamorphisme, Mallard a délibérément affirmé sa nature éruptive, et l'a reconnu sans hésiter comme le type d'une grande famille, comprenant depuis les pegmatites jusqu'aux leptynites à mica blanc, et intimement liée aux porphyres quartzifères. De plus, à l'encontre de Fournet, qui inclinait à en faire un épanchement tertiaire, il a démontré que son éruption devait être antérieure à la période carbonifère.

La science géologique n'a pas été seule à profiter de ces explorations. En 1856, on avait repris à Vaulry, dans la Haute-Vienne, l'exploitation d'un très ancien gisement d'étain oxydé. Mallard suivait les fouilles avec une vive curiosité. Après avoir constaté que l'apparition des filons stannifères était en relation étroite avec celle du granite

Digitized by Google

à deux micas de la chaîne de Blond, il fut frappé de l'analogie de situation et d'allure que présentaient, avec les anciennes recherches de Vaulry, certaines excavations voisines de Montebras (Creuse), et que les habitants du pays considéraient tantôt comme les restes d'un camp romain, tantôt comme des vestiges d'habitations souterraines ayant servi aux Gaulois. En 1859, il parvint à y découvrir un gros fragment d'étain oxydé, encore adhérent au quartz. Aussitôt une société se mit à l'œuvre pour entreprendre l'exploitation du gîte; et si cette mine n'a pas tenu, au point de vue de l'étain, toutes les espérances qu'elle avait suscitées, du moins les travaux de recherches, provoqués par la découverte de Mallard, ont fait connaître d'intéressants minéraux du groupe des phosphates d'alumine, dont quelques-uns assez riches en lithine pour que la thérapeutique en ait tiré parti.

Pendant ce temps, Mallard continuait ses études sur les gîtes stannifères et leurs analogues du Limousin et de la Marche, où l'or se montrait plus d'une fois en compagnie de l'étain, ainsi que le wolfram et le kaolin. D'autre part, plus il explorait le pays et plus il voyait se multiplier sous ses pas les exemples d'excavations en tout semblables à celles de Montebras. Villes détruites, tombeaux, retranchements élevés durant les guerres, fouilles pour matériaux de construction, toutes les hypothèses avaient été proposées au sujet de ces tranchées et de ces trous parfois très profonds, aujourd'hui presque entièrement oblitérés par la végétation. Une seule chose résultait de ce chaos de suppositions inadmissibles : c'est que les fouilles étaient assez anciennes pour qu'on eût perdu tout souvenir authentique de leurs origines.

Or Mallard y reconnaissait les mêmes alignements et les mêmes circonstances géologiques qu'à Montebras. Partout il y trouvait du quartz imprégné de pyrite et de mispickel. A la vérité l'étain oxydé faisait défaut; mais

outre que son absence ne prouvait rien, vu la grande antiquité et le mauvais état des fouilles, il était possible que l'or, compagnon habituel de l'étain dans ces contrées, eût été l'un des objets, peut-être l'objet principal des recherches. En effet, à la suite de M. Alluaud, Mallard signalait le fréquent usage, dans la désignation des localités correspondantes, de mots tels qu'*Aurières*, *Aurieras*, *Laurière*. Même le groupe des fouilles situées entre Millemilange et Couzeix était longé par la petite rivière de l'*Aurance*, où le lavage des sables avait, jusqu'au siècle dernier, rémunéré les efforts des orpailleurs. Enfin la tradition locale ne dépeignait-elle pas l'une de ces fouilles comme recelant un trésor sous la garde d'une fée?

Aussi, en dernière analyse, le sagace géologue concluait-il que le Limousin et la Marche devaient être comptés au nombre des pays d'où nos ancêtres gaulois tiraient l'or, dont on sait qu'ils étaient assez abondamment pourvus pour exciter, au IV^e siècle avant notre ère, l'admiration des Romains. Et par un heureux rapprochement, sur les landes aujourd'hui si pauvres du Limousin, il ne craignait pas d'évoquer le souvenir de cette *Californie gauloise*, au moment même où la fièvre de l'or sévissait sur la Californie américaine dans toute son intensité.

Ces vues si ingénieuses, et dont tout le monde a reconnu la justesse, ont été développées par Mallard dans un mémoire adressé, en janvier 1865, à l'Académie des sciences. La publication intégrale de ce travail a eu lieu l'année suivante dans le tome X de la 6^e série des *Annales des mines*. De ce jour, la réputation de l'auteur n'était plus à faire. Ceux qui l'avaient lu étaient en droit d'ajouter la méthode, la sobriété, la clarté et la correction du style, aux qualités d'initiative et de sagacité dont l'ingénieur avait déjà fait preuve sur le terrain.

Non seulement ces travaux scientifiques ne nuisaient

en rien aux fonctions didactiques de Mallard, mais l'activité toujours en éveil de cet esprit si vivace réclamait encore d'autres aliments. Aucune question industrielle ne le laissait indifférent, et il mettait à profit son séjour à Saint-Étienne pour acquérir, en matière de mines et de métallurgie, une véritable expérience technique. Une étude théorique sur les *machines à air comprimé*, publiée en 1867 dans le *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, atteste cette variété d'aptitudes, que confirmait en 1868 la publication d'un savant rapport, adressé à la même société, sur l'usage des *lampes de sûreté*.

L'administration sut apprécier de tels mérites, et Mallard, qui était devenu ingénieur de 1re classe en 1867, reçut, le 11 août 1869, la croix de la Légion d'honneur. Un an après, une décision ministérielle l'autorisait à se charger, pour la société de Vallenar, d'une expertise des gisements argentifères du Chili. Il partit le 16 juillet 1870, pour s'acquitter de cette mission, en compagnie d'Edmond Fuchs; mais à peine étaient-ils parvenus à destination que, le 18 septembre, la nouvelle de nos premiers désastres venait les retrouver à Copiapo. Le 10 octobre, ils quittaient le sol chilien et, à peine rentrés en France, s'empressaient de se mettre à la disposition du gouvernement de la défense. Mallard fut d'abord adjoint au directeur de la manufacture d'armes de Saint-Étienne, à la fabrication de laquelle on savait qu'il s'était antérieurement initié. Mais on lui laissa à peine le temps de s'installer, et une nouvelle décision l'appela à l'armée de l'Est, en lui attribuant le commandement du génie civil dans le 18e corps. La bataille de Villersexel, puis la retraite de l'armée en Suisse, tels furent les douloureux épisodes infligés à son patriotisme impuissant. Le souvenir en était resté pour lui si plein d'amertume, qu'il évitait d'en parler même à ses meilleurs amis.

Digitized by Google

Le séjour au Chili avait été de si courte durée, qu'on peut s'étonner qu'il en ait pu rester quelque trace. Pourtant les deux amis trouvèrent moyen de publier en 1873, dans les *Annales des mines*, une note intéressante, aussi bien sur les terrains quaternaires de la contrée que sur les gisements lignitifères de Lota, près de Concepcion, et de Punta-Arenas, sur le détroit de Magellan.

Ce qui a facilité la rédaction de ce travail, c'est que, depuis un an, Mallard était venu rejoindre à Paris son ancien compagnon de voyage. Lorsqu'en 1872, M. Daubrée, nommé directeur de l'École des mines, abandonna le cours de minéralogie dans cet établissement, on chercha, parmi les ingénieurs, qui pourrait recevoir cette redoutable succession et s'asseoir avec quelque autorité dans la chaire auparavant illustrée par Sénarmont et Dufrénoy. A cette époque, aucun membre du Corps des mines, en dehors de Delesse, déjà professeur à l'École, ne s'était signalé dans la spécialité minéralogique. Ebelmen et Durocher étaient morts depuis longtemps. M. Cornu avait à porter le lourd fardeau de la physique à l'École polytechnique. Mallard seul se trouvait indiqué, tant par sa situation officielle à Saint-Étienne que par la bonne renommée qu'il y avait su conquérir. Mais, dans sa modestie, il n'avait rien fait pour que cette réputation franchit le cercle de ses amis et de ses chefs immédiats. Aussi plus d'un parisien peut-être se montra-t-il étonné du choix, en apparence purement hiérarchique, que venait de faire l'administration. On n'allait pas tarder à se convaincre que jamais elle n'avait été mieux inspirée.

Arrivant d'une école où l'enseignement est tenu d'affecter un caractère éminemment pratique, le nouveau professeur devait, semble-t-il, laisser voir, du moins au début, quelques traces de cette tendance. Tout au contraire, Mallard s'empressa de mettre à profit la haute cul-

Digitized by Google

ture scientifique du milieu qui s'offrait à lui pour donner, au cours de cristallographie, une ampleur qu'on n'avait pas encore connue.

A l'École polytechnique, il avait eu Bravais pour professeur de physique, et il était de ceux que la profondeur de cet esprit original n'avait pas laissés insensibles. Mieux qu'un autre, il se trouvait à même d'aborder sans crainte ces *Études cristallographiques*, d'apparence si rébarbative, mais dont Élie de Beaumont avait, quelques années auparavant, signalé le puissant intérêt. Mallard s'aperçut bien vite que, sous les dehors d'une analyse presque transcendante, les doctrines de Bravais cachaient une réelle simplicité géométrique. Étant arrivé d'ailleurs à se persuader qu'elles offraient un caractère de nécessité philosophique égal à celui des lois de la mécanique, il entreprit de les donner pour base à une science que l'empirisme avait jusqu'alors gouvernée, et d'où il semblait même que la trace féconde laissée par Haüy tendît à s'effacer sous l'empire des conceptions allemandes.

Le succès de cette tentative a été complet; non que l'exposition orale du professeur fût particulièrement brillante; mais on la sentait si solide, et c'était une si grande satisfaction, pour des esprits habitués à la rigueur mathématique, de voir dans quel lumineux enchainement tous les faits de la cristallographie pouvaient être déduits d'un principe unique, lui-même imposé par la notion de l'homogénéité! Bientôt Mallard faisait école. Ce qu'il avait réalisé en vue des polytechniciens, d'autres, s'engageant encore plus dans la voie des simplifications, l'essayaient à leur tour pour les clients habituels des facultés des sciences. Aujourd'hui la méthode rationnelle a pris pied partout. A l'abri du magnifique *Traité de Cristallographie* de Mallard, ouvrage malheureusement inachevé, des livres plus élémentaires ont cherché à

répandre les mêmes doctrines et ont trouvé bon accueil parmi les étudiants. C'est toute une révolution dans l'enseignement; et il est permis d'ajouter que c'est une révolution nationale, par laquelle la science française, revenant en fait aux lumineuses conceptions d'Haüy, a réussi à leur donner une base tout à fait rationnelle, mais sans s'écarter jamais de la considération essentiellement concrète des polyèdres moléculaires.

Le *Traité de Cristallographie* comprend deux volumes : le premier, qui traite de la cristallographie géométrique, a paru en 1879. Le second, consacré à l'exposé des phénomènes optiques, a été publié en 1884. Jamais la matière n'avait été traitée avec une pareille ampleur. A chaque instant, d'ailleurs, les vues originales de l'auteur se mêlent au développement des théories acquises, trahissant toujours le géomètre et le penseur. Quoi de plus remarquable, entre autres, que cette démonstration par laquelle Mallard établit que, pour toutes les propriétés des corps, la représentation exprimée par l'ellipsoïde s'impose comme une conséquence nécessaire de cette hypothèse, à coup sûr inexacte, que les propriétés des corps doivent être des fonctions *continues* des coordonnées du milieu? De sorte qu'au lieu de traduire une loi de la nature, les ellipsoïdes optique, thermique, etc., résultent implicitement du procédé mathématique appliqué à l'étude des phénomènes!

C'est dans le troisième volume que l'auteur devait réunir et coordonner, en leur donnant une forme définitive, tous ses travaux relatifs aux groupements cristallins, ainsi qu'aux diverses manifestations physiques de la matière cristallisée. Un article publié par Mallard, en 1882, dans l'*Encyclopédie chimique*, donne un aperçu de ce que promettait ce volume. Il n'en fait que plus vivement regretter que la mort ait empêché l'achèvement d'un tel ouvrage.

Digitized by Google

Mallard, par son enseignement, n'avait accompli qu'une révolution didactique. Il lui était réservé d'en provoquer une autre, bien plus profonde, et par laquelle il est permis de dire que la face de la minéralogie a été entièrement renouvelée.

Le séjour de Paris avait quelque peu changé les habitudes du professeur de Saint-Étienne. Soustrait au contact des choses de l'industrie, en possession d'un laboratoire bien outillé, tenant à sa disposition une collection incomparable, il devait être tenté d'y faire quelque trouvaille. Un esprit de sa trempe se fût mal accommodé de recherches de détail, et c'eût été pour lui un maigre résultat de pouvoir ajouter, de temps en temps, une face inconnue au catalogue des formes d'une espèce. En vrai philosophe, c'est vers la connaissance de la structure intime des cristaux qu'il se sentait attiré. Après la vigoureuse impulsion que M. des Cloizeaux avait donnée aux études optiques en lumière polarisée convergente, Sorby était venu, qui, par l'examen des plaques minces en lumière parallèle, avait, en quelque sorte, doté les observateurs d'un sens nouveau, dont la pétrographie commençait à tirer un merveilleux parti. Mallard entreprit d'appliquer cette méthode à l'analyse des *anomalies optiques* des cristaux. De là est sorti le beau mémoire de 1876, point de départ d'une ère nouvelle pour la science, et où le minéralogiste, hier encore inconnu, se révélait d'emblée savant de premier ordre.

On savait, depuis les recherches de Brewster, que plusieurs espèces cristallisées offraient, sous le microscope polarisant, des apparences contradictoires avec leur symétrie extérieure. Pour expliquer ces singularités, Biot avait eu recours à l'hypothèse, bientôt reconnue inadmissible, de la polarisation lamellaire. D'autres imaginaient une sorte de trempe cristalline, produisant, dans l'intérieur des cristaux, des effets de tension analo-

Digitized by Google

gues à ceux dont les corps colloïdes sont le siège.

Mallard fit voir, par l'examen détaillé d'un grand nombre de cas, que, sur les sections minces des minéraux étudiés, on voyait, comme M. des Cloizeaux l'avait déjà constaté pour le quartz, se dessiner des secteurs, le plus souvent limités par des lignes droites, et dont chacun offrait une orientation optique spéciale. Ainsi les cristaux réputés simples résultent en réalité d'une multiple association d'individus, venant se grouper sous une gaine ou enveloppe commune, et la symétrie de cette enveloppe est généralement plus élevée que celle des individus constituants. Tantôt, comme dans le grenat ou la sénarmontite, quarante-huit pyramides tricliniques viennent s'assembler autour d'un même point, parce que leur angle au sommet est tel, que, par cette juxtaposition, elles remplissent tout l'espace, en s'enfermant sous une enveloppe qui diffère infiniment peu, soit d'un dodécaèdre rhomboïdal, soit d'un octaèdre. Tantôt, comme dans l'analcime, trois cristaux d'apparence quadratique et presque cubiques paraissent se pénétrer, orientant leurs axes respectifs suivant trois directions rectangulaires, et se revêtant extérieurement d'une gaine pseudo-cubique. Encore un examen plus approfondi fait-il voir que ces cristaux élémentaires ne sont qu'approximativement quadratiques, et que chacun d'eux est formé de deux individus en réalité rhombiques.

C'était beaucoup d'avoir constaté et défini cette complication. Mais il fallait en donner la raison, et c'est ici qu'éclate l'esprit philosophique de Mallard. En étudiant les groupements classiques de l'aragonite, ce carbonate de chaux prismatique dont les assemblages à axes parallèles affectent si souvent une symétrie hexagonale, il remarque que les paramètres cristallographiques de la substance diffèrent très peu de ce qui conviendrait à une symétrie ternaire parfaite. Il constate que les secteurs

optiques correspondent justement aux trois orientations que l'aragonite pourrait prendre autour de son axe vertical, si ce dernier était exactement ternaire. Dès lors plus de doute! Les groupements, qui engendrent les assemblages affectés d'anomalies optiques, doivent être le privilège des cristaux à *symétrie-limite*, c'est-à-dire très voisine de celle qui caractérise un degré plus élevé, et ils accusent la tendance de la nature à profiter de ce faible écart pour *construire des édifices plus symétriques que les matériaux composants.*

Après avoir justifié cette remarquable conclusion par toutes sortes d'exemples, Mallard aperçoit de suite que cette propriété, qui fait entrer dans un même assemblage des matériaux d'orientation différente, n'est qu'une extension de la grande loi de l'*isomorphisme*, c'est-à-dire de la faculté que possèdent des molécules intégrantes, non point identiques, mais assez semblables les unes aux autres, d'entrer en proportions quelconques dans la construction d'un même cristal. Ce que font les molécules, les *réseaux*, c'est-à-dire les assemblages réguliers d'un certain nombre de particules, l'accomplissement aussi pour leur compte. Ils se combinent entre eux, à titre de *réseaux isomorphes*, bénéficiant par leur enchevêtrement ordonné d'une symétrie totale plus élevée que ne serait celle de chacun d'eux pris isolément.

Mallard va plus loin encore, et par une des plus heureuses inspirations de son génie, imagine de rattacher au même principe le fait, en apparence opposé aux précédents, du *polymorphisme*. Une substance est polymorphe, parce que, offrant par elle-même une forme-limite (fait déjà démontré par La Provostaye et Pasteur), elle est, suivant les circonstances, susceptible de plusieurs modes de groupement, d'ailleurs inégalement stables aux diverses températures, et dont chacun affecte une appa-

rence déterminée. Enfin, s'appuyant sur une expérience de Reusch, qui, par des croisements convenables de lames de mica, a réussi à reproduire les phénomènes de la polarisation rotatoire, Mallard n'hésite pas à ranger la rotation du plan de polarisation parmi les anomalies optiques que doivent présenter les corps à symétrie-limite; et, dans une note où se déploient ses heureuses facultés d'analyste, il démontre que la théorie justifie cette conception.

L'émotion excitée par ce mémoire fut considérable, et fit naître, selon la juste expression de M. Michel Lévy (*), « une série de discussions qui rappelaient par plus d'un côté la lutte mémorable soutenue jadis par Fresnel ». Tandis que la plupart des savants de l'école allemande s'acharnaient, on peut le dire, à prendre la nouvelle doctrine en défaut, d'autres se passionnaient en sa faveur, réussissant parfois à faire saisir sur le fait la réalité des combinaisons annoncées par Mallard. Ce dernier, d'ailleurs, aussi modeste et courtois dans la controverse qu'il était ferme et résolu dans ses vues, ne songeait qu'à les étayer par de nouveaux exemples. Comme l'a si bien dit M. Wyrouboff(**), chez lui la théorie et la pratique marchaient toujours côte à côte, et l'on ne saurait dire si c'est par ses conceptions d'ensemble plutôt que par ses observations de détail qu'il a le plus contribué à transformer complètement l'étude des corps cristallisés. Tout se tient dans son œuvre, ajoute le même savant, et Mallard a eu le droit de dire que ses conclusions n'étaient « que la traduction immédiate, et sans l'intervention d'aucune hypothèse, des faits incontestés qu'il avait observés et décrits ».

(*) Discours aux funérailles de Mallard.

(**) Notice sur Mallard, dans le *Bulletin de la Société française de minéralogie*, 1894, p. 248.

Digitized by Google

En 1879, Mallard donnait à la Société de minéralogie une note sur la *théorie des macles par hémitropie*. Rarement de plus beaux aperçus ont été présentés sous une forme plus concise et plus simple. L'auteur fait voir que deux portions cristallines contiguës ne peuvent affecter que deux situations d'équilibre relatif : l'*équilibre réticulaire*, où le réseau se poursuit d'une portion à l'autre ; et l'*équilibre de macle*, qui correspond à une hémitropie de l'un des réseaux autour de la normale au plan de jonction. Mais il remarque de suite que cette hémitropie n'est suffisante que dans le cas des formes holoédriques. Si la symétrie du polyèdre moléculaire est incomplète, l'équilibre mécanique exige une autre rotation. Ici le tempérament du géomètre intervient, et inspire à l'auteur l'idée de composer ces rotations successives suivant la règle d'Euler. Du coup il découvre la raison de ces hémitropies *parallèles* (c'est-à-dire accomplies autour d'un axe situé dans le plan de jonction), qui semblaient une fantaisie de la nature, et justifie des macles, comme celle du cuivre gris, dont nulle conception n'avait pu jusqu'alors expliquer la disposition.

D'autre part, il réussissait à montrer comment une interprétation fort simple des éléments cristallographiques de la staurotide permet de rendre compte des macles si caractéristiques de cette espèce, où la jonction ne s'accomplit pas suivant une face commune de notation simple. La curieuse croix grecque ou *croisette* de Bretagne n'est que la manifestation d'un axe pseudo-quaternaire, et la croix de Saint-André trahit un axe binaire, dont l'espèce est pourvue en vertu de sa symétrie quasi-cubique.

Ajoutons que, dans une étude théorique sur les mélanges isomorphes, le savant minéralogiste établissait que les indices de réfraction d'un mélange sont liés par une fonction linéaire avec ceux des corps composants,

Digitized by Google

conclusion que de récentes recherches paraissent avoir pleinement vérifiée.

A cet ensemble d'habiles déductions, Mallard ajoutait d'ingénieuses expériences, entreprises pour la plupart avec la collaboration de M. H. Le Chatelier, et qui ont montré comment la chaleur, en modifiant les groupements réticulaires, peut changer le caractère optique d'une espèce. Par exemple, la boracite et l'iodure d'argent deviennent subitement uniréfringents à une température déterminée. Mais les savants expérimentateurs ne se bornent pas à définir cette température. Mallard a déjà reconnu que, pour la boracite, « la calcination ne modifie ni la forme de l'ellipsoïde d'élasticité optique, ni la position des six orientations qu'on peut lui donner; elle ne modifie que le choix fait, en quelque sorte, par chaque partie de la lame cristalline entre ces six orientations ». Avec son collaborateur, il entreprend une nouvelle expérience, et la dispose de manière à noter au passage toutes les fluctuations de l'état thermique. Ils découvrent ainsi que la transformation isotrope est accompagnée par l'absorption d'une certaine quantité de chaleur. Ce calorique latent accuse évidemment le travail dépensé pour la rotation des particules. De la sorte, le fait de cette rotation devient aussi certain que dans les mémorables expériences de Reusch et de Baumhauer sur la production mécanique des hémitropies de la calcite.

Une autre fois, consulté sur la véritable définition de la calcédoine, Mallard reprend l'étude de cette substance, y démontre la présence fréquente de l'opale, signale les confusions qui ont souvent été faites dans les collections, et découvre en passant une nouvelle variété cristalline de silice, qu'il appelle *Lussatite*. Après quoi, s'attaquant à la tridymite, il établit son identité avec l'asmanite. Puis il reconnait que la christobalite du Mexique se place dans son voisinage immédiat, et que

Digitized by Google

toutes deux représentent un état allotropique de la silice, formé exclusivement à de hautes températures, mais stable dans toutes les conditions thermiques.

On n'en finirait pas, du reste, si l'on voulait n'oublier aucune des questions de détail où Mallard a laissé l'empreinte de sa sagacité, et nous avons hâte d'arriver à ce mémoire capital de 1884, par lequel il a magnifiquement couronné son œuvre théorique, en présentant des vues d'une profonde originalité sur l'*arrangement moléculaire des substances cristallisées.*

En entreprenant ces nouvelles recherches, il s'était simplement proposé d'appuyer par des observations précises les idées qu'il avait déjà émises au sujet de la polarisation rotatoire, et que M. Wyrouboff venait de confirmer par un certain nombre d'exemples, empruntés aux cristaux hexagonaux et quadratiques. Par l'enchaînement des résultats expérimentaux et des déductions qu'il semblait légitime d'en tirer, Mallard a été amené (c'est lui-même qui l'écrit), à des conclusions dépassant de beaucoup le but qu'il avait d'abord entrevu. Mais au lieu de céder à la tentation d'annoncer avec fracas sa conquête, il prélude à son exposé dans des termes qu'il convient de reproduire, parce qu'ils suffiraient à peindre cette exceptionnelle nature de savant : « J'ai été, dit-il, conduit de proche en proche à proposer une hypothèse, au premier abord peu vraisemblable, quoiqu'elle paraisse cependant appuyée sur des arguments très sérieux ».

Mallard commence par établir le dimorphisme du chlorate et du bromate de soude qui, d'une forme rhomboédrique avec symétrie concordante, passent naturellement à un arrangement cubique plus stable. Il remarque que ce passage, par une propriété commune à toutes les transformations allotropiques, respecte la forme des cristaux, d'où il conclut que les paramètres du rhomboèdre réalisé doivent être, à peu de chose près, des

Digitized by Google

multiples ou des sous-multiples simples de ceux du réseau cubique. Ensuite il constate l'isomorphisme que présentent, malgré l'apparente incompatibilité de leurs formes, les deux chlorates de potasse et de soude. Il s'assure alors que le chlorate et l'azotate de potasse sont pleinement isomorphes, enfin que cette série embrasse également les azotates de soude, d'ammoniaque et d'argent. Il faut donc que, dans tous ces corps, les paramètres cristallins aient des rapports simples avec ceux du cube.

Mais comment accorder cette conclusion avec les valeurs habituellement acceptées par les cristallographes? Ici l'ingénieux géomètre fait voir qu'il y a diverses manières d'envisager un réseau cubique, que chacune comporte une combinaison spéciale de paramètres, et que ces combinaisons distinctes représentent ce qu'il est légitime d'appeler les *limites cubiques* respectives d'un réseau quadratique, rhomboédrique ou rhombique. C'est donc à ces systèmes-limites qu'il faut comparer les paramètres des corps dont l'isomorphisme avec des substances cubiques a été constaté.

Or une discussion des données numériques relatives aux azotates, chlorates, bromates, iodates, carbonates, titanates, oxydes, sulfures, corps simples, silicates, amène Mallard à cette importante conclusion : que pour un très grand nombre de substances, choisies dans les séries les plus diverses, les paramètres cristallins peuvent être ramenés à peu près à ceux du réseau cubique, si l'on multiplie ces derniers par des coefficients compris parmi les rapports des quatre nombres : 1, 2, 3, 4. Le réseau moléculaire de tous les corps est donc, avec une certaine approximation, le réseau cubique lui-même; comme si, selon la remarque de M. H. Le Chatelier, les molécules tendaient naturellement à s'empiler de manière à occuper le minimum d'espace, à la façon des piles de boulets,

Digitized by Google

où les centres forment précisément un réseau cubique.

Mallard remarque d'ailleurs que cette conséquence est en harmonie avec un autre fait important : la variation, suivant les directions, des propriétés physiques des corps, est toujours suffisamment exprimée par un ellipsoïde ; et l'observation démontre que jamais cet ellipsoïde ne s'écarte beaucoup d'une sphère, la différence des axes extrêmes dépassant rarement un dixième.

Il parait donc naturel d'établir une distinction entre le réseau *physique*, celui-là cubique, des centres de gravité moléculaires, réseau d'où dépendent presque toutes les propriétés physiques des corps, et le réseau *cristallographique*, sur lequel s'ordonnent les molécules *de même orientation*, qui ne se retrouveront, par exemple, que de trois en trois avec un assemblage pseudo-ternaire, etc. Ce dernier réseau détermine la forme extérieure du cristal. Cela revient à substituer, aux molécules *simples* de l'édifice homogène normal, des molécules *complexes*, formées par la juxtaposition des orientations distinctes que comporte la symétrie-limite d'un réseau. En d'autres termes, c'est la notion des corps *polymères*, transportée du domaine de la chimie dans celui de la cristallographie. Et cette polymérisation, amenée par la production d'*hémitropies moléculaires*, est susceptible de varier sous l'action de la chaleur et de diverses autres causes.

Telle est la séduisante théorie que Mallard a su exposer dans cinquante pages, aussi riches en arguments de fait et en aperçus suggestifs que remarquables par la lumineuse simplicité de la forme. « J'ai pensé, dit l'auteur en terminant, que ces hypothèses, présentées d'ailleurs avec la réserve nécessaire, étaient appuyées sur des raisons assez sérieuses pour que je puisse me hasarder à les soumettre au jugement des cristallographes ». Peut être quelques-uns demeureront-ils réfractaires à la doctrine ; mais à coup sûr il n'y aura pas de divergences s'il s'agit

Digitized by Google

de proclamer que jamais vues plus profondes n'ont été produites avec une plus grande modestie.

En résumé, grâce aux magnifiques compléments apportés par Mallard à l'œuvre toute française des Haüy, des Delafosse et des Bravais, tous les faits cristallographiques s'enchainent et s'ordonnent dans une merveilleuse harmonie. A la vérité, les lois aperçues à l'origine ne sont plus que des lois élémentaires, et l'homogénéité primitivement admise ne prévaut désormais que pour de minimes portions de la matière. Mais les groupements de ces parties homogènes obéissent aux mêmes principes généraux ; si bien que les anomalies constatées, au lieu d'ébranler la théorie, semblent au contraire la confirmer ; à peu près comme l'analyse des perturbations planétaires a fini par apporter son témoignage en faveur de la loi de l'attraction universelle, que ces irrégularités avaient paru mettre en échec.

Même on peut se demander si la philosophie naturelle ne gagne pas, au lieu de perdre, à cette apparente complication. N'est-ce pas un nouvel argument à l'appui du grand principe de la moindre action? Puisque la tendance vers l'acquisition d'une symétrie supérieure, qu'accusent si bien les groupements cristallins, s'explique d'elle-même, si l'on remarque qu'un corps est d'autant mieux défendu contre la destruction que sa résistance est mieux équilibrée suivant les diverses directions de l'espace.

Lors même que les théories de Mallard n'auraient eu d'autre résultat que de faire naître un grand mouvement d'idées, et de provoquer d'innombrables recherches, qui se sont traduites pour la science en progrès aussi rapides qu'inattendus, le nom de l'auteur n'en devrait pas moins être cité parmi ceux des premiers savants de l'époque (*). Mais son action a été plus décisive encore, et il est permis

(*) Wyrouboff, *loc. cit.*

Digitized by Google

de dire que, des longues discussions auxquelles son système a donné lieu, Mallard est sorti triomphant. Ce n'est pas que tous ses adversaires aient capitulé. L'hypothèse de la tension cristalline garde encore quelques partisans, surtout en Allemagne, et il est des esprits sur qui la belle simplicité des doctrines cristallographiques françaises n'exerce pas la même séduction que dans notre pays, toujours si sensible aux choses logiquement enchainées. D'ailleurs, au degré de minutie où les observations modernes sont parvenues, il devient fort difficile de prononcer un jugement sans appel à l'égard d'une structure cristalline, alors que les objections peuvent toujours se réfugier dans l'infiniment petit.

Mallard le reconnaissait lui-même, et ne se flattait pas de pouvoir réduire, par de nouveaux arguments de fait, des oppositions aussi persévérantes. C'était une des marques distinctives de cet esprit supérieur, d'allier une grande fermeté scientifique à une tolérance extrême envers la contradiction. Même il eût volontiers ralenti le zèle de quelques-uns de ses admirateurs, pour les empêcher d'outrer sa pensée, en attribuant la valeur d'articles de foi à ce qu'il regardait seulement comme des explications très plausibles. Aussi éloigné de l'infatuation que du scepticisme, il savait qu'en matière de sciences d'observation le dernier mot n'est jamais dit, et la réserve de ce génie essentiellement clairvoyant faisait un absolu contraste avec le dogmatisme autoritaire, dont l'histoire des savants, même les plus éminents, offre quelques exemples.

Quoi qu'il en soit, si le vrai rôle de la science est de faire resplendir l'ordre dans les phénomènes, et d'en grouper le plus grand nombre possible autour d'idées directrices, qui établissent entre eux un lien logique, en même temps qu'elles illuminent la marche des chercheurs, on peut dire que nul n'a réalisé cet idéal mieux que Mal-

Digitized by Google

lard. Sa doctrine a été d'une extrême fécondité ; elle a vivifié à nouveau tout l'enseignement de la minéralogie, en y amenant bon nombre de disciples que la sécheresse et le caractère abstrait des anciennes conceptions en auraient tenus écartés.

Son influence a encore été bienfaisante à un autre point de vue : nous voulons parler de l'action personnelle exercée par lui dans les sociétés savantes qu'il fréquentait assidûment, et où sa courtoisie, sa droiture, son affabilité, ont laissé de profonds souvenirs. Mallard était l'âme de la Société française de Minéralogie, dont il a été deux fois le président. A maintes reprises, l'intérêt des séances, comme la valeur du Bulletin, ont exclusivement dépendu des travaux qu'il y apportait. C'est avec une attention soutenue qu'il suivait toutes les communications, et ses remarques, toujours topiques, étaient marquées au coin de l'expérience et du bon sens. Les mêmes qualités étaient appréciées à la Société géologique de France, qui a tenu à l'avoir pour président en 1885, et où son attitude réservée ne l'empêchait pas de jouir de la grande autorité due à sa science, comme à sa situation de membre de la commission de la Carte géologique détaillée. Les sociétés de chimie et de physique l'ont aussi compté parmi leurs membres les plus éminents.

Mais, comme l'a bien dit M. Haton de la Goupillière (*), c'est surtout l'École nationale supérieure des Mines qui a été la vraie patrie de Mallard. Pendant vingt-deux ans il a fait partie du personnel enseignant, et c'est lui qui, lors du changement des programmes, opéré il y a une dizaine d'années, a été le principal initiateur des grands développements qu'a reçus alors le système d'instruction. Aimé de tous ses collègues, équitable et bon pour les élèves, il recevait avec une bonne grâce simple et

(*) Discours aux funérailles.

Digitized by Google

charmante, dans ce laboratoire d'où sont sorties ses plus belles découvertes, et qui garde encore, comme souvenir de lui, un remarquable goniomètre de son invention, spécialement adapté à la mesure des cristaux microscopiques.

Depuis le jour où Mallard était devenu chef d'école, aucune vacance ne s'était produite à l'Académie des sciences dans la section de Minéralogie. Ce n'est qu'en 1890 qu'un siège y devint libre. Mallard n'avait presque jamais paru dans l'enceinte académique. Toujours absorbé par ses travaux ou ses fonctions, il n'avait pas cherché à nouer d'avance de ces relations qui peuvent préparer le succès d'une candidature. Néanmoins l'exposé de ses titres, et surtout la façon dont s'exprimaient sur son compte tous ceux qui avaient autorité pour le juger, suffirent pour assurer son succès dès le premier tour. Jamais distinction ne fut plus à propos ; jamais aussi une élection n'eut lieu dans des conditions plus encourageantes pour le vrai mérite. Quand on songe que lui, le moins âgé de la section, allait quatre ans après payer son tribut à la mort, on frémit à l'idée qu'une erreur de jugement, de la part de quelques membres incomplètement informés de sa valeur, aurait pu fermer pour jamais à un tel homme les portes de l'Académie ! Grâce à Dieu, il n'en a rien été, et l'histoire, loin d'avoir à reprocher à la savante compagnie un acte d'injustice, lui saura gré, au contraire, d'avoir si volontiers admis une supériorité que bien peu étaient personnellement à même d'apprécier en pleine connaissance de cause.

Jusqu'ici c'est surtout le savant que nous avons envisagé dans Mallard. Mais, pas plus à Paris qu'à Saint-Étienne, les travaux de science pure ne lui ont fait oublier qu'il était ingénieur. Son activité si bien ordonnée lui permettait de concilier les devoirs les plus divers, et libre de tout lien personnel, puisqu'il ne s'était pas marié,

Digitized by Google

il a su mener de front, avec un labeur scientifique surprenant, l'accomplissement de fonctions administratives et techniques, où l'occasion lui a été fournie de rendre au pays des services qui suffiraient à l'illustration d'une carrière. Ingénieur en chef depuis 1877, il avait été nommé, l'année suivante, membre de la commission chargée d'étudier les moyens propres à prévenir les explosions de grisou. C'était réveiller chez lui d'anciens souvenirs; car dix ans auparavant, à Saint-Étienne, il s'était préoccupé de cette grave question, et sur son initiative, la Société de l'Industrie minérale avait entrepris les premières recherches vraiment scientifiques auxquelles ce problème, si capital pour la sécurité des mineurs, eût jamais donné lieu. Dans un rapport demeuré classique, il avait alors démontré les dangers que présente l'emploi de la lampe de Davy, et fait connaitre les améliorations à introduire dans la construction des appareils de sûreté.

Cette tâche n'a cessé de l'occuper jusqu'à sa dernière heure, se compliquant chaque jour de missions nouvelles, que sa compétence de mieux en mieux reconnue lui faisait attribuer. C'est ainsi qu'en 1887 il était nommé membre de la commission chargée d'étudier l'emploi des explosifs dans les mines à grisou. Il s'en acquittait de telle façon, que la même année le ministère de la guerre le faisait adjoindre, comme membre temporaire, à la commission des substances explosives, en attendant qu'en décembre 1888 il devînt membre du comité spécial consultatif des poudres et salpêtres. Quelques jours avant sa mort, il dirigeait les travaux d'une commission d'expériences, qui étudiait à la poudrerie de Sevran-Livry les conditions d'établissement des dépôts souterrains de dynamite, et en même temps il prenait une part active aux délibérations d'où devait sortir un règlement applicable à toutes les mines françaises.

Digitized by Google

Les travaux que Mallard a exécutés dans ces diverses occasions, et pour lesquels il a eu, depuis 1881, la constante collaboration de M. H. Le Chatelier (*), se distinguent par leur caractère de précision scientifique. Fidèle à la méthode qu'il avait, le premier, mise en honneur à Saint-Étienne, il a tenu à appliquer constamment les procédés rigoureux de la physique et de la chimie modernes à la solution de problèmes qui jusqu'alors n'avaient été traités que par voie empirique.

Indépendamment des précieux résultats de fait que ce système a permis d'établir, il en est résulté comme une démonstration vivante de l'accord que présente nécessairement la vraie science avec la pratique, dont elle est le guide indispensable. Nous disons la vraie science, c'est-à-dire celle qui combine, dans un juste équilibre, les spéculations de la théorie avec le maniement des méthodes expérimentales ; car c'est le plus souvent pour avoir exagéré l'une ou l'autre de ces tendances, qu'on a cru rencontrer de prétendus désaccords entre la science proprement dite et les résultats empiriquement constatés.

Des expériences faites à l'étranger avaient montré à quel point pouvait être inégale la sécurité offerte par les différents types de lampes usités dans les mines. Mais ces études, spéciales aux appareils employés, n'avaient mis en lumière aucun résultat d'ensemble qui fût applicable à des cas nouveaux. Mallard se proposa d'établir la théorie générale des lampes de sûreté. Il montra que leur efficacité dépendait de deux ordres de facteurs : l'un, plus ou moins maniable au gré des constructeurs ou des ingénieurs, et comprenant la forme des enveloppes

(*) C'est grâce à une précieuse communication du savant collaborateur de Mallard qu'il nous a été possible de donner, à cette partie de la notice, un développement en rapport avec l'importance du sujet.

Digitized by Google

métalliques, la dimension des mailles, la vitesse du courant gazeux; l'autre, déterminé par les propriétés mêmes du grisou : température d'inflammation, température de combustion et vitesse de propagation de la flamme. Or, à l'égard de ces derniers points, toute donnée précise faisait défaut.

Dès 1869, Mallard avait commencé des expériences sur la vitesse de propagation. Il les reprit, en 1879, cette fois avec un outillage beaucoup plus perfectionné, et fut bientôt en mesure de donner une série complète de déterminations, embrassant tous les mélanges combustibles qui peuvent se rencontrer dans les mines. L'idée lui vint ensuite d'étendre les mêmes recherches aux mélanges d'hydrogène, d'oxyde de carbone, de gaz d'éclairage, de sulfure de carbone en vapeur, etc. Cette extension, qui pouvait sembler sans rapport avec le problème posé à l'occasion des mines, se trouva singulièrement opportune; car, bientôt survenait à Paris un grave accident, causé par l'inflammation d'un mélange gazeux explosible. Le service des pompiers provoqua une consultation des hommes compétents, pour décider quel type de lampes il convenait d'employer en pareille circonstance. Les expériences de Mallard permirent de formuler une réponse immédiate. Sans cette étude préalable, la question eût exigé près d'une année de recherches de laboratoire.

Au cours de ces travaux, en 1883, Mallard, avec son habituelle sagacité, sut tirer des résultats obtenus quelques conséquences fécondes relativement à la chaleur spécifique des gaz, ainsi qu'aux circonstances de leur dissociation à de hautes températures. Non seulement la physique y trouva un profit notable; mais ces données nouvelles rendirent possible l'étude rationnelle des moteurs à gaz et celle des divers foyers industriels. Celui qui les avait établies allait bientôt lui-même en faire une

Digitized by Google

application capitale à la *théorie des explosifs*, en fournissant, pour le calcul de leur puissance, des formules dont l'usage s'est rapidement généralisé, à l'étranger comme en France.

C'est peut-être dans l'étude consacrée par Mallard aux *explosifs de sûreté* que s'est le mieux révélée l'efficacité avec laquelle l'esprit scientifique peut intervenir dans la solution des problèmes industriels. La statistique avait démontré que les deux tiers des accidents de grisou étaient occasionnés par le tirage des coups de mines. Beaucoup de personnes, même parmi les ingénieurs, n'hésitaient pas à conclure à la suppression pure et simple de l'emploi des explosifs, mesure qui eût entraîné une notable aggravation du prix de revient de la houille.

Mallard crut que cette suppression ne s'imposait pas nécessairement. Bien que la température d'inflammation du grisou ne fût que de 650 degrés, alors que la combustion des explosifs connus en développait plus de 2.000, il pensa qu'on pourrait éviter l'inflammation du gaz dangereux, en profitant d'une propriété qu'il avait constatée au cours de ses recherches : à savoir que ce gaz, pour prendre feu, a besoin d'être maintenu pendant un certain temps à la température qui doit déterminer l'explosion. Grâce à cette sorte de paresse, à ce *retard à l'inflammation*, comme on l'a qualifié, il semblait à Mallard qu'un refroidissement rapide des gaz dégagés par les explosifs devait suffire pour empêcher les coups de grisou.

Jugée trop hardie au début, l'idée ne tarda pas à être reprise, et celui qui l'avait formulée fut chargé d'en étudier l'application, de concert avec les ingénieurs des poudres, à Sevran-Livry. Or, la seule cause efficace de refroidissement est la détente rapide des gaz, et cette détente se montrait insuffisante même avec les explosifs brisants, tels que la dynamite. Il fallait donc trouver

Digitized by Google

des corps capables de détoner à une température assez peu élevée pour que, après détente, l'inflammation du grisou devînt impossible. Après divers tâtonnements, Mallard fut conduit à essayer de l'azotate d'ammoniaque, corps qui n'est pas détonant par lui-même, mais qui le devient au contact d'un explosif proprement dit. La température de détonation de ce corps étant de 1.100 degrés, tandis que celle des explosifs usuels est de 2.500 degrés, on est parvenu, par des mélanges convenables, à réaliser des cartouches dont la détonation ne produit pas plus de 1.500 degrés, et qui, en usage dans toutes les mines depuis deux ans, n'ont jusqu'ici provoqué aucune explosion de grisou. Moins d'une année de recherches méthodiques avait suffi pour produire ce beau résultat, qui assure la préservation de tant de vies humaines, en même temps que le maintien de conditions économiques pour l'exploitation du charbon de terre.

Il faut ajouter que Mallard a établi, d'une façon définitive, comme quoi le grisou préexiste dans la houille, condensé comme il pourrait l'être au sein d'un corps poreux; enfin qu'on lui doit la première idée de l'emploi des lampes à alcool, en qualité d'*indicateurs* du gaz dangereux. Aussi, qui pourrait hésiter à dire, avec M. Haton de la Goupillière (*) : « Quelle admiration ne commandent pas, au point de vue humanitaire, des recherches dans lesquelles on voit toute l'intelligence d'un Mallard disputer pied à pied au grisou ses victimes, et dompter finalement, dans une partie de ses effets destructeurs, le vieil ennemi du mineur? »

Inspecteur général depuis 1886, officier de la Légion d'honneur en 1888, Mallard avait été chargé, en 1890, de l'inspection de la division minéralogique du nord-est. Ses rares qualités lui assuraient, au conseil des mines,

(*) Discours aux funérailles.

une grande autorité. Si compliquées que fussent les questions administratives, dont la solution lui incombait, il trouvait moyen de les élucider dans des rapports très sobres, où chaque chose était mise au point en quelques pages. Le bon sens, la netteté, la droiture, l'absence de passion comme de parti pris, telles étaient les qualités dominantes de son esprit. Aussi se disait-on avec confiance que les traditions du conseil trouveraient en lui un gardien fidèle, lorsque le cours naturel des choses ferait arriver en sa possession une présidence pour laquelle tout le désignait.

Malheureusement un mal, que personne ne soupçonnait, guettait cette précieuse existence. A voir Mallard si actif, si alerte même, et faisant face avec tant d'aisance aux devoirs les plus multiples, nul n'aurait hésité à lui prédire de longs jours. Pourtant une seconde devait suffire pour enlever, sans avertissement comme sans souffrance, au monde savant et au corps des mines, l'homme qui les avait tant honorés. Le 6 juillet 1894, on apprenait avec stupeur que Mallard venait de mourir! Trois jours après, une foule émue se pressait aux abords de sa modeste maison de la rue de Médicis, donnant à l'homme au moins autant de regrets qu'au savant et à l'ingénieur. Sous le porche de Saint-Sulpice, sa mémoire recevait les hommages de M. Daubrée, au nom de l'Académie des sciences ; de M. Linder, comme président du conseil des Mines; de M. Haton de la Goupillière, parlant au nom de l'École supérieure des mines; de M. Michel Lévy, en qualité de président de la Société française de minéralogie. Puis la dépouille mortelle, sous la garde du frère du défunt, s'acheminait vers cette ville de Saint-Amand, témoin de son enfance, où allait désormais reposer, à côté d'une mère bien-aimée, celui qui avait toujours donné dans son cœur la première place aux affections de famille.

Digitized by Google

La France ne devait pas être seule à témoigner de la douleur que lui causait une telle perte. Peu de semaines après les obsèques, M. Fletcher, devant l'Association britannique rassemblée à Oxford, rappelait les titres de Mallard et n'hésitait pas à proclamer que la minéralogie était en deuil de *son plus grand philosophe*. A cette appréciation nous n'en ajouterons qu'une : celle de l'illustre savant qui a rendu célèbres tour à tour les noms de William Thomson et de lord Kelvin. La lecture du *Traité de cristallographie* lui avait inspiré pour Mallard une haute estime. Venu en France et assistant à une séance de l'Académie des sciences, dont il est associé étranger, lord Kelvin avait souhaité d'y rencontrer l'auteur de ce beau livre, malheureusement absent de Paris à cette date. Du moins il exprima tout son regret de n'avoir pu faire la connaissance personnelle d'un homme qu'il regardait comme « un des plus puissants esprits de ce siècle (*). »

Tel est, en effet, le jugement que la postérité devra se plaire à ratifier. Mais elle n'oubliera pas non plus que cette rare puissance a su marcher de pair avec une prodigieuse variété d'aptitudes, et que l'admirable dignité du caractère, jointe à une simplicité sans pareille, complète autour de cette mémoire une auréole comme bien peu de figures auront mérité d'en porter.

(*) Ayant entendu dire que cette appréciation avait été formulée dans l'enceinte de l'Académie, nous nous sommes permis de vérifier le fait auprès de Lord Kelvin lui-même, qui a bien voulu nous écrire pour le confirmer. Il nous a paru qu'il convenait d'assurer ainsi, par un témoignage authentique, la transmission d'un jugement aussi flatteur.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

DES TRAVAUX PUBLIÉS PAR MALLARD

Carte géologique de la Haute-Vienne, à l'échelle de $\frac{1}{80000}$ 1869

Carte géologique de la Creuse, à l'échelle de $\frac{1}{100000}$. (Restée inédite, le département ayant refusé le crédit nécessaire à sa publication. A été communiquée au service de la Carte géologique détaillée pour la confection de la Carte de la France au $\frac{1}{1000000}$ et à MM. Vasseur et Carez pour la publication de leur Carte de la France au $\frac{1}{500000}$). . . 1870

Traité de Cristallographie géométrique et physique, t. I (400 pages, avec Atlas de 9 planches) 1879

T. II (600 pages). 1884

Cristallographie (Encyclopédie chimique publiée sous la direction de M. Fremy, t. I, p. 610-774) 1882

Les groupements cristallins. Conférence faite à la Société chimique de Paris (*Revue scientifique* des 30 juillet et 6 août 1887).

Recueil de données cristallographiques et physiques concernant les principales espèces minérales (Autographie, 67 pages). Feuilles distribuées chaque année aux élèves qui suivent le Cours de Minéralogie de l'Ecole dès Mines (1[re] et 2[e] éditions) . . . . 1885 et 1894

Comptes rendus de l'Académie des Sciences.

Note sur une roche *magnétipolaire* trouvée sur le Puy Chopine, LX, 1068 1865

Sur les gisements stannifères du Limousin et de la Marche et sur quelques anciennes fouilles qui paraissent s'y rattacher, LXII, 223. 1866

Présentation par M. E. de Beaumont, de la Carte géologique de la Haute-Vienne, LXX, 325 1870

Sur l'action que la silice et quelques oxydes analogues exercent, à haute température, sur le carbonate de soude, LXXV, 472 1872

Sur le système cristallin de plusieurs substances présentant des anomalies optiques, LXXXII, 1063 et 1164. 1876

Sur la constatation de la présence du grisou dans l'atmosphère des mines (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), LXXXVIII, 749. . . . 1879

Sur les températures d'inflammation des mélanges gazeux (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCI, 825 1881

Sur la production du phosphure de fer cristallisé et du feldspath anorthite dans les incendies des houillères de Commentry, XCII, 933 . . 1881

Sur la théorie de la polarisation rotatoire, XCII, 1155. 1881

Digitized by Google

Sur la vitesse de propagation de l'inflammation dans les mélanges gazeux explosifs (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCIII, 145 . . 1881

Sur la vitesse de refroidissement des gaz aux températures élevées (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCIII, 962. 1881

Sur les chaleurs spécifiques des gaz aux températures élevées (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCIII, 1014. 1881

Sur les températures de combustion et la dissociation de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCIII, 1076 1881

Sur la nature des mouvements vibratoires qui accompagnent la propagation de la flamme dans les mélanges gazeux combustibles (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCV, 599. 1882

Sur les pressions instantanées produites pendant la combustion des mélanges gazeux (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCV, 1352. 1882

Sur le dimorphisme de l'iodure d'argent (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCVII, 102 1883

Sur la variation, avec la pression, de la température à laquelle se produit la transformation de l'iodure d'argent (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XCIX, 157. 1884

Sur les rapports qui existent entre les réseaux cristallins des différents corps, XCIX, 209. 1884

Sur les diverses substances qu'Ebelmen avait préparées et non décrites, CV, 1260. 1887

Sur le procédé de tirage des coups de mine dans les mines à grisou (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), CVII, 96. 1888

Sur la *lussatite*, nouvelle variété minérale cristallisée de silice, CX, 245. 1890

Sur la variation qu'éprouvent, avec la température, les biréfringences du quartz, de la barytine et du disthène (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), CX, 399. 1890

Sur la tridymite et la christobalite, CX, 964 1890

Sur la boléite, CXIII, 519 1891

Sur le fer natif de Canon Diablo, CXIV, 1618. 1892

Bulletin de la Société française de Minéralogie.

Sur la bravaisite, substance minérale nouvelle, I, 5-8 1878

Sur les cristaux à forme limite, I, 107-110. 1878

Sur la théorie de l'hémitropie et en particulier sur l'hémitropie du disthène et du cuivre gris, II, 9-14. 1879

Sur la forme cristalline du ferromanganèse, II, 47-50 1879

Observations sur la théorie des houppes vues dans les cristaux polychroïques, II, 72-78 1879

Note au sujet de la boracite, II, 147-148 1879

Remarques sur la forme pseudo-cubique du diamant, II, 130. 1879

Sur les propriétés optiques des mélanges isomorphes et sur les anomalies optiques des cristaux, III, 3-24 1880

Digitized by Google

Sur l'examen microscopique de quelques schistes ardoisiers, III, 101-103. 1881
Remarques sur la symétrie des réseaux de la boracite et du grenat, IV, 15-16. 1881
Sur quelques phénomènes de polarisation chromatique, IV, 66-71. . . 1881
Sur la théorie des phénomènes produits par des croisements de lames cristallines et par des mélanges de corps isomorphes, IV, 71-79 . . 1881
Sur l'isomorphisme des feldspaths tricliniques, IV, 96-111. 1881
Sur quelques produits des incendies des houillères de Commentry, IV, 230-236 1881
Propriétés optiques de la prehnite d'Arendal, V, 70-71 1882
Sur la mesure de l'angle des axes optiques, V, 77-87 1882
Sur les anomalies optiques de la prehnite, V, 195-213 1882
De l'action de la chaleur sur les substances cristallisées, V, 214-243 . 1882
De l'action de la chaleur sur la heulandite, V, 255-260 1882
Sur le polychroïsme des cristaux, VI, 45-57. 1883
Sur la chaleur latente correspondant au changement d'état cristallin de la boracite (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), VI, 122-129 . . 1883
Sur la détermination des indices principaux de la boracite, VI, 129-134. 1883
Sur le dimorphisme de l'iodure d'argent (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), VI, 181-184 1883
Observation sur le dimorphisme du chlorate de soude, VII, 478-484. . 1884
Sur l'isomorphisme des chlorates et des azotates et sur la vraisemblance de la quasi-identité de l'arrangement moléculaire dans toutes les substances cristallisées, VII, 349-401 1884
Observations sur les relations cristallographiques et optiques de la barytocalcite dans la série des carbonates, des azotates et des chlorates, VIII, 44 1885
Sur la théorie des macles, VIII, 452-469 1885
Sur les hypothèses diverses proposées pour expliquer les anomalies optiques des cristaux, IX, 54-73 1886
Observation sur une communication de M. Wyrouboff à propos de la définition de l'isomorphisme, IX, 115-121 1886
Sur la théorie de la réflexion totale cristalline d'après M. Liebisch, IX, 154-167 1886
Sur le réfractomètre de M. Émile Bertrand, IX, 167-171. 1886
Sur une disposition particulière du goniomètre de Wollaston, X, 231-236. 1887
Sur la cryptolite de Norvège, X, 236-238 1887
Sur la Sellaïte, XI, 302-304 1888
Sur la forme cristalline du ferrochrome, XI, 304 1888
Sur quelques substances cristallisées préparées par Ebelmen, XI, 305-311 1888
Siliciure de fer et de manganèse, XII, 421-425. 1889
Sur les alliages de fer et de chrome, XII, 425-427. 1889
Sur les clivages du quartz, XIII, 60-62 1890
Sur la *lussatite*, nouvelle variété cristalline de silice, XIII, 63-66 . . . 1890
Sur la variation qu'éprouvent, avec la température, les biréfringences

Digitized by Google

du quartz, de la barytine et du disthène (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), XIII, 123-129 1890
Sur la tridymite et la christobalite, XIII, 161-179 1890
Sur la mélanophlogite, XIII, 180-182. 1890
Sur le grenat pyrénéite, XIV, 293-302. 1891
Les anomalies optiques des cristaux (mémoire du D[r] *Brauns*), XIV, 302-306. 1891
Sur la boléite (en commun avec M. *Cumenge*), XIV, 283-293 1891
Sur quelques borates cristallisés, XV, 15-19. 1892
Sur la forme cristalline du carbonate de lithine, XV, 21-26. 1892
Sur le périclase artificiel, XVI, 18-19 1893
Sur la boléite, la cumengéite et la percylite, 184-195 1893

Bulletin de la Société géologique de France.

Des oscillations séculaires des glaciers et des variations qu'elles accusent dans les éléments météorologiques du globe, 3[e] série, IV, 69-73. 1875

Annales de Chimie et de Physique.

De l'action que la silice et quelques oxydes analogues exercent, à une température élevée, sur le carbonate de soude, 4[e] série, XXVIII, 86-108 1873

Journal de Physique.

Sur la théorie de la polarisation rotatoire, 1[re] série, X, 479-482. . . . 1881
Étude sur la combustion des mélanges gazeux explosifs (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 2[e] série, I, 173-183 1882
De l'action de la chaleur sur la boracite et le sulfate de potasse, 2[e] série, II, 201-219 1883
Recherches sur la combustion des mélanges gazeux explosifs (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 2[e] série, IV, 59-84. 1885
Sur le dimorphisme de l'iodure d'argent (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 2[e] série, IV, 305-311 1885
Sur la théorie de la réflexion totale cristalline, d'après M. Th. Liebisch, 2[e] série, V, 389-405 1886

Bulletin des séances de la Société française de Physique.

Sur les chaleurs spécifiques des gaz (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 308-327 1888

Société des Sciences naturelles et archéologiques de la Creuse.

Découverte d'un gîte d'étain oxydé à Montebras 1859

Annales des Mines.

Note sur les gisements stannifères du Limousin et de la Marche et sur quelques anciennes fouilles qui paraissent s'y rattacher, 6e série, X, 321-352 1866

Note sur quelques points de la géologie du Chili (en commun avec M. *Ed. Fuchs*), 7e série, III, 67-102 1873

De la vitesse avec laquelle se propage l'inflammation dans un mélange d'air et de grisou et de la théorie des lampes de sûreté, 7e série, VII, 355-381 1875

Explication des phénomènes optiques anormaux que présentent un grand nombre de substances cristallines, 7e série, X, 60-196 1876

Revue des principaux travaux publiés sur la Minéralogie pendant les années 1877 et 1878, 7e série, XV, 238-312 1879

Note sur l'accident de Frameries (en commun avec M. *E. Vicaire*), 7e série, XV, 575-588 1879

Sur les procédés propres à déceler la présence du grisou dans l'atmosphère des mines (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 7e série, XIX, 186-211 1881

Sur les propriétés optiques des mélanges cristallisés de substances isomorphes et sur l'explication de la polarisation rotatoire, 7e série, XIX, 256-313 1881

Du rôle des poussières de houille dans les accidents de mines (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 8e série, I, 5-98 1882

Sur les expériences sur la pression du grisou dans la houille, par M. Lindsay Wood, 8e série, I, 530-551 1882

Note sur l'indicateur de grisou de M. Liveing (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 8e série, III, 31-34 1883

Sur les lampes de sûreté (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 8e série, III, 35-68 1883

Recherches expérimentales et théoriques sur la combustion des mélanges gazeux explosifs (en commun avec M. *H. Le Chatelier*). *Premier Mémoire.* — Températures d'inflammation, 8e série, IV, 276-295 1883

Deuxième Mémoire. — Sur la vitesse de la propagation de la flamme, 8e série, IV, 296-378 1883

Troisième Mémoire. — Sur les températures de combustion et les chaleurs spécifiques des gaz aux températures élevées, 8e série, IV, 379-568 1883

Sur les travaux de la Commission prussienne du grisou (en commun avec M. *H. Le Chatelier*). 8e série, IX, 638-664 1886

Examen de diverses substances cristallisées préparées, mais non décrites par Ebelmen, 8e série, XII, 427-459 1887

Note sur une disposition particulière du goniomètre de Wollaston, 8e série, XII, 460-468 1887

Étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du

Digitized by Google

grisou. Rapports présentés à la Commission des substances explosives. *Premier Rapport*, 8e série, XIV, 227. 1888
Second Rapport, 8e série, XIV 1888
Note théorique sur le calcul des températures de détonation et de la force des explosifs (en commun avec M. *H. Le Chatelier*), 8e série, XIV. 1888
Note sur la quantité de chaleur qui peut être transformée en travail par la détente adiabatique d'un gaz, 8e série, XIV. 1888
Résumé des Rapports adressés sur divers essais pratiques faits sur les explosifs de la Commission, 8e série, XVI, 13-123 1889

Bulletin de la Société de l'Industrie minérale.

Étude théorique sur les machines à air comprimé, 1re série, XII, 615-691. 1867
Expériences sur les lampes de sûreté. Rapport présenté au nom de la Commission de l'industrie minérale, 1re série, XIII, 723-771. 1868
Sur le gore blanc (en commun avec M. *E. Lescure*), 2e série, I, 517-523 1872
Congrès international des Mines et de la Métallurgie. Sur l'emploi des explosifs dans les mines à grisou, 3e série, III, 659-709 1889

NOTE
SUR LA RÉPARATION D'UN ÉBOULEMENT
SURVENU
DANS LE PUITS N° 3 DES MINES DE LIÉVIN

Par M. DESAILLY, Ingénieur principal aux mines de Liévin.

1° *Réparation rapide* (voir *fig.* 1 à 3, Pl. VI). — Le puits n° 3, approfondi en 1891-92, a traversé, vers la profondeur de 480 mètres, une faille formant rejet au sud de 120 mètres environ.

Cette faille, qui porte, dans les concessions de Lens et de Liévin, le nom de faille Saint-Amé, se présente sous forme d'une cassure, inclinée d'environ 50°, entre les deux lèvres de laquelle se trouve une épaisseur de plusieurs mètres de terrains broyés excessivement friables.

L'exploitation commencée à l'étage de 526 mètres, a eu pour effet de briser la maçonnerie faite dans le puits au niveau de cette faille, et, malgré les travaux de consolidation exécutés à ce point, le 21 août 1894, il se produisit un mouvement de terrains qui provoqua la chute d'une partie *a b c d* de la maçonnerie du puits.

Les terres, formant remplissage des deux lèvres de la faille, se mirent à couler et il fut impossible de circuler dans le puits.

Les traverses supportant le guidage furent descellées par la chute de la maçonnerie.

La partie de puits éboulée avait une longueur de 11 mètres environ.

Pour éviter tout accident, il fallait faire la réparation en descendant ; on s'y prit de la façon suivante :

Un sommier solide E, convenablement entaillé, fut fixé sur les traverses de guidage t_1 et t'_1, dans la région du puits solide immédiatement supérieure à l'éboulement ; on descendit ensuite six bois de la plus grande longueur possible (8 mètres) que l'on suspendit, par des boulons, à ce sommier E.

Ces bois étaient espacés d'environ $0^m,50$ d'axe en axe.

Convenablement garnis de planches, ces bois, ainsi suspendus, permirent de placer successivement des sommiers F, G, H, I, etc., jusqu'à la base de l'éboulement, en ayant soin de les boulonner avec les bois verticaux VVV.

A mesure qu'on posait les sommiers F, G, H, I, etc., on piquait horizontalement, dans la faille, une série de bois horizontaux *ff*, *gg*, *hh*, etc., taillés en pointe, qu'on recouvrait de fagots solidement serrés au terrain. On partageait ainsi la chambre d'éboulement en une série de compartiments distincts qui rendraient beaucoup plus facile la réparation définitive.

Cette réparation provisoire fut exécutée en deux jours.

Le puits fut remis en extraction le 24 et il put attendre, pendant plusieurs mois, la réparation définitive, qui fut faite de la façon suivante :

2° *Réparation définitive* (Pl. VI, *fig.* 4 à 7 et Pl. VII). — On savait, par expérience, qu'une maçonnerie était insuffisante pour maintenir les terrains éboulés et on eut recours à une espèce de cuvelage placé à l'intérieur de la maçonnerie existante, avec remplissage de béton ou de ciment.

Ce cuvelage, déjà employé dans un autre puits de la compagnie, se compose d'une série d'anneaux en quatre pièces formés de fer à **U** assemblés par éclisses et broches.

Digitized by Google

Chaque anneau correspond verticalement aux traverses de guidage existantes ; ils sont reliés entre eux par huit montants verticaux en fer à **U** également assemblés par broches ; le tout est garni extérieurement par vingt-quatre tôles cintrées selon le diamètre extérieur des anneaux. Derrière les tôles, on coule du ciment ou on place du béton suivant l'importance du vide à remplir.

Les traverses de guidage sont fixées dans les anneaux par des broches convenablement disposées de chaque côté de la traverse.

Pour la réparation du puits, voici comment on a procédé.

Un premier anneau de base fut posé en dessous de l'éboulement dans une partie solide de maçonnerie, en l'établissant sur des corbeaux en chêne scellés dans celle-ci. Il fut placé avec soin et dans un plan horizontal au moyen d'un niveau à bulle d'air.

On dut supprimer les traverses du guidage correspondant à cet anneau et enlever les extrémités de ces traverses encastrées dans la maçonnerie qu'il fallut du reste élargir en certains points pour faire la place de cet anneau.

Dans celui-ci, on fixa les nouvelles traverses de guidage retenues par des broches à chaque extrémité ainsi qu'il est dit plus haut et on boulonna à nouveau les guides sur celles-ci.

Le deuxième anneau fut mis en place de la même façon, en enlevant les traverses primitives du guidage pour les remplacer par d'autres.

Ces deux anneaux furent réunis par huit montants verticaux et on posa les tôles de revêtement derrière lesquelles on coula du ciment.

La pose du troisième anneau et des suivants fut plus délicate. Il fallut en effet, pour chacun d'eux, ménager leur place dans l'éboulement, après l'avoir ménagée dans la maçonnerie du reste du puits.

Digitized by Google

Voici comment on procéda pour chaque anneau à partir du troisième :

La coupe verticale *fig.* 1, Pl. VII, indique l'aspect du travail au moment où un anneau P est complètement terminé, le béton coulé en arrière et jusqu'au niveau de celui-ci.

1° Entre les sommiers I et H (*fig.* 1 et 2), on place contre les bois verticaux VVV un fort madrier I′, qu'on relie solidement à ceux-ci, au moyen de tirefonds. Les extrémités de ce madrier sont en outre calées, si possible, sur les parties solides de la maçonnerie.

Puis, sur ce madrier I′ on pique dans l'éboulement des bois et des barres de fer *i′*, *i′*, terminées en pointe (morceaux de rails de mine), de $1^m,50$ à 3 mètres de longueur.

On constitue, ainsi, une sorte de plafond intermédiaire analogue à ceux déjà formés par les bois *ii*, *hh*, *gg*, etc.

On diminue, de ce fait, la fatigue de ces derniers.

2° On enlève les traverses de guide *tt′*. Le sommier I se trouve soutenu à ce moment par les bois verticaux VV auxquels il est boulonné. On a du reste eu soin préalablement de le caler au moyen de poussards sur les guides du puits.

On commence à dégarnir entre les niveaux *i′ i′* et *k′ k′*. On peut ainsi avancer à $0^m,65$ ou $0^m,80$ des bois verticaux VV.

En ce point, par mesure de précaution, on passe sous le niveau *i′ i′* un longeron *r* (*fig.* 2, Pl. VII) retenu par des bois debout ayant leur point d'appui sur le dernier anneau P ou les parties solides du puits.

On peut alors placer le nouvel anneau R dans la partie de l'éboulement ainsi dégagée et le reste de la section du puits.

La *fig.* 2, Pl. VII, représente l'aspect du travail à ce moment : le nouvel anneau R vient d'être posé et calé dans le puits.

3° Cet anneau est relié à celui du dessous par huit montants verticaux. On place les tôles de revêtement et on coule une grande partie du béton.

Enfin, pour terminer le bétonnage on dégage avec précaution le reste de l'éboulement entre les niveaux $i'i'$ et $k'k'$. On enlève ensuite le sommier I', le madrier K', les bois ii, $k'k'$, etc., on coupe les bois verticaux VV sous le madrier I' et on est prêt à recommencer, pour un nouvel anneau, l'opération qui vient d'être décrite.

La partie éboulée dans le puits a été entièrement réparée de cette façon, au moyen d'un revêtement de 16^{m},20 de hauteur (13 anneaux y compris celui de base).

Ce travail a été exécuté, sans interrompre les services du puits, chaque jour après le poste d'extraction et les jours de chômage.

La pose du revêtement dans ces conditions a été commencée le 18 octobre et terminée le 12 décembre.

Ce qu'il fallait éviter à tout prix durant ce travail c'étaient les mouvements de terrains et de nouveaux éboulements. On réussit parfaitement grâce à la liaison de l'ensemble des bois VVV, des sommiers EFGH, etc., et des traverses $t_1 t'_1$, $t_2 t'_2$, etc., du guidage. Ce travail de réparation se présenta alors dans de bonnes conditions. On eut cependant à lutter contre un mouvement de terrains assez fort, lors de la pose du cinquième anneau. On renforça par des longerons et des madriers les compartiments alors découverts, et on consolida la maçonnerie du puits affaiblie en ce point. Le travail put être ensuite repris sans embarras.

Digitized by Google

NOTE

SUR UN

AFFAISSEMENT SURVENU LE 5 MAI 1894

DANS LES TRAVAUX DE LA COUCHE DES LITTES

[CONCESSION DES MINES DE HOUILLE DE MONTRAMBERT (LOIRE)]

Par M. COSTE, Ingénieur des mines.

Une note insérée aux *Annales des mines* (8e sér., t. XIV, p. 526) a indiqué dans quelles conditions s'est produit, le 13 janvier 1888, dans la couche des Littes de la concession des mines de houille de Montrambert (Loire), un déplacement subit du toit *ou du mur* de la couche, correspondant à un ébranlement du sol qui fut perçu à la surface à de grandes distances du centre du mouvement. Un fait identique s'est reproduit dans la même couche, dans des conditions tout à fait analogues, le 5 mai 1894.

Le champ d'exploitation de la couche des Littes, à l'est du travers-banc des puits Devillaine, mesure environ 700 mètres en direction. La couche, en général très régulière, sauf entre les plans 4 et 5, a une épaisseur moyenne de $1^m,50$ à $1^m,60$ à l'ouest et de 1 mètre à $1^m,10$ à l'extrémité est. Immédiatement au-dessus de la couche se trouve un faux toit de schistes plus ou moins charbonneux, d'épaisseur variable, atteignant au plus $0^m,40$ à $0^m,50$, lequel a surtout pour effet de remplir toutes les irrégularités du

Digitized by Google

véritable toit constitué par un banc de grès massif très épais. Au mur se trouve un banc de grès, dont l'épaisseur diminue en allant de l'ouest à l'est, séparant la couche des Littes d'une petite couche mesurant $0^m,80$ au maximum comme épaisseur. La traversée horizontale de ce banc de grès est de 30 mètres en face du travers-banc des puits Devillaine; elle n'est que de 8 à 10 mètres au travers-banc du puits Saint-Pierre. Entre ce banc de grès et la couche des Littes s'intercale, toujours en allant vers l'est, un faux mur de gore.

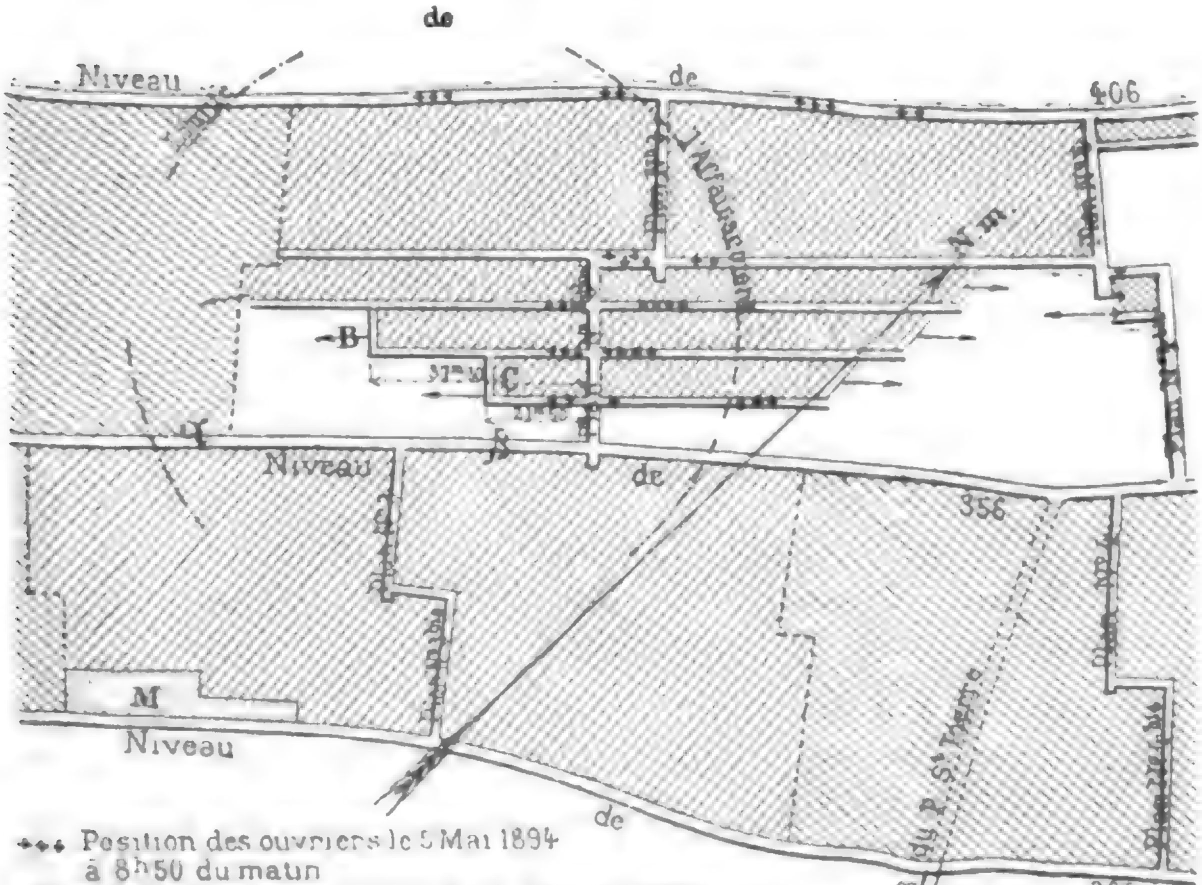
Le champ d'exploitation de la couche des Littes à l'étage 356-406 est divisé en cinq panneaux correspondant chacun à un groupe de deux plans inclinés à chariot-porteur disposés en baïonnette. Les panneaux sont exploités successivement en allant de l'ouest à l'est. Dans chaque panneau on dépile la couche par tailles chassantes s'éloignant du plan et disposées en gradins renversés. Les tailles sont soigneusement remblayées; mais on ne remblaie pas les niveaux qui les desservent, la proportion en volume de remblais mis en place a été dans ces travaux de 37,5 p. 100 en 1892 et de 36,95 p. 100 en 1893. La couche n'est pas grisouteuse; on y emploie exclusivement des lampes à feu nu.

Lorsque l'on exploite la région est de la couche des Littes, dans les étages actuels tout au moins, on entend parfois de violentes détonations. Elles sont assez rares tant que l'on travaille dans la partie inférieure de chaque panneau; mais elles deviennent de plus en plus fréquentes et de plus en plus fortes à mesure que l'exploitation s'avance, c'est-à-dire à mesure que l'on diminue l'importance du pilier qui subsiste encore. Le charbon de la partie supérieure est en même temps toujours beaucoup plus broyé que celui de la partie inférieure. On paraît attribuer ces détonations à la rupture du mur de la couche et elles correspondent souvent à des chocs suffi-

Digitized by Google

sants pour décaler, partiellement au moins, le boisage.

Le plan ci-dessous indique l'état des travaux à la date du 5 mai 1894. Vers 8 heures et demie du matin tous les ouvriers des plans 3 cessèrent de travailler pour déjeuner. Ils se groupèrent aux abords des plans et occupèrent les positions figurées sur le plan. Vers 8^h45 ou 8^h50 un choc violent se produisit, accompagné d'un bruit sourd et d'une chasse d'air extrêmement violente projetant des torrents de poussière dans toute l'étendue des travaux des plans 3-3 *bis*. Les déclarations des ouvriers ont été très catégoriques à cet égard ; ils ont affirmé également avoir tous été plus ou moins bousculés par la chasse d'air ou par le choc.



+++ Position des ouvriers le 5 Mai 1894 à 8^h50 du matin
M Pilier de charbon écrasé le 13 Janvier 1888

Les cotes sont prises à partir de l'orifice du P Devillaine Echelle 1/2000

Les effets de ce choc se sont ressentis très loin. Un chargeur qui se trouvait au pied de la remonte à l'extrémité est du niveau de 406, à 250 mètres de la base du

Digitized by Google

plan 3, a été renversésur son tas de charbon et sa lampe a été éteinte; dans la taille du pied du plan 4 *bis* la lampe du gouverneur est la seule qui ait conservé du feu. Sur les dix ouvriers qui étaient dans le niveau de roulage à proximité du plan n° 3, trois seulement conservèrent du feu.

Immédiatement après le coup de vent, on entendit de tous les côtés de violents craquements dans le boisage et l'on put constater aussitôt que le toit et le mur s'étaient sensiblement rapprochés; les bennes des rouleurs situées au replat des plans 3 et 3 *bis*, par exemple, ne purent plus passer dans le niveau. Quand on voulut revenir aux tailles B et C, on constata que les niveaux avaient beaucoup souffert et que le rapprochement du toit au mur pouvait être évalué en moyenne à $0^m,05$ ou à $0^m,10$; dans les tailles elles-mêmes le boisage était entièrement parti et le faux toit était tombé remblayant presque entièrement ces tailles. Quant au niveau supérieur (356) il était presque entièrement remblayé entre les points α et β; la sole s'était subitement soulevée et était venue se coller contre les montants de la pile d'amont. Les tailles situées à l'ouest du plan 3 *bis* ne paraissaient pas avoir souffert.

On a figuré sur le plan ci-contre toute la surface affectée par le coup de charge en se basant notamment sur la partie du boisage qui avait souffert. Le centre du mouvement paraît bien coïncider avec le petit massif de charbon enlevé par les tailles B et C.

Ce n'est qu'après plusieurs jours de travail que l'on a pu arriver à rouvrir les tailles et que l'on a pu se rendre compte de l'état dans lequel se trouvait le charbon; tous les plans de clivage de la houille étaient ouverts et il suffisait de toucher le charbon pour le faire tomber; bien qu'il fût encore assez grenu, il l'était infiniment moins qu'avant. De plus en l'abattant ou en le chargeant

on provoquait le dégagement d'une épaisse poussière, ce qui ne se produisait pas autrefois.

Contre le mur, et ceci se voyait surtout au bas de la taille B, il s'était formé un petit lit de moure extrêmement fine, très douce au toucher; cette moure n'existait pas en temps normal dans la couche. J'ai déjà dit que le niveau 356 avait été partiellement remblayé, la sole était remontée au toit de la, galerie et des vieux bois qu'on avait laissés sur le sol de ce niveau étaient venus se coller contre les montants du parement d'amont; le charbon de la pile d'aval avait reflué vers l'amont. Lorsque l'on a voulu rétablir ce niveau en partant de la tête du plan 3 *bis*, il a fallu faire un rebanchage au charbon assez important, mesurant $0^{m},50$ à une dizaine de mètres de la tête du plan 3 *bis*. Un phénomène analogue pouvait être constaté à l'aval; le niveau de base de la taille B était en partie obstrué par le charbon de la pile d'amont qui avait glissé sur le mur de 1 mètre environ. La stratification avait été parfaitement conservée; les planches de charbon étaient parfaitement nettes, mais le charbon était, comme partout d'ailleurs, très écrasé et très friable.

La commotion a été ressentie au jour, notamment au bureau de Montrambert, dans l'habitation de M. Griot, au Montcel, près du puits Saint-Pierre, près des puits Devillaine, près du puits des Hautes Littes. Si l'on se reporte à la note insérée aux *Annales* dont il a été question plus haut, on verra que l'on avait ressenti la commotion à peu près exactement aux mêmes points.

On voit d'après ce qui précède que le coup de charge du 5 mai 1894 s'est produit dans des circonstances identiques à celui qui avait déjà été signalé dans cette couche le 13 janvier 1888. On se trouve exactement dans la même région, l'avancement des travaux était exactement le même et les effets ont été de tout point semblables.

En terminant le dépilage du plan 3, on constata encore

quelques coups de charge analogues à celui du 5 mai. L'un d'eux fut même assez violent (2 juin) pour provoquer l'extinction des lampes des deux ouvriers de la taille C.

On n'a eu à déplorer le 5 mai aucun accident de personne parce que tous les ouvriers avaient heureusement quitté leurs chantiers. Mais si de semblables ruptures d'équilibre du toit ou du mur d'une couche peuvent déjà provoquer de graves accidents lorsqu'il s'agit d'exploitations non grisouteuses, ils peuvent provoquer de vraies catastrophes dans les mines franchement grisouteuses. Un semblable phénomène serait évidemment accompagné du dégagement brusque de tout le grisou contenu dans la pile de houille écrasée, du refoulement dans les galeries du grisou emmagasiné dans les remblais, enfin les fissures du toit et du mur peuvent en amener encore. D'autre part une chasse d'air à teneur élevée en grisou aussi violente que celle du 5 mai peut mettre en défaut certains types de lampes de sûreté ou tout au moins certaines lampes de sûreté dont l'entretien laisserait un peu à désirer.

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1893 ET EN 1894 (*).

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS	NATURE DU COMBUSTIBLE	PRODUITS 1893	PRODUITS 1894
		tonnes	tonnes
Ain	Lignite	80	80
Allier	Houille	934.312	991.782
Alpes (Basses-)	Lignite	27.260	24.022
Alpes (Hautes-)	Anthracite	8.363	9.205
Alpes-Maritimes	Lignite	200	80
Ardèche	Houille et anthracite	41.293	46.166
Aveyron	Houille	900.830	930.196
	Lignite	2.543	3.327
Bouches-du-Rhône	Idem	402.477	377.606
Cantal	Houille	80.333	76.844
	Lignite	60	75
Corrèze	Houille	2.100	1.518
Côte-d'Or	Houille et anthracite	11.138	8.978
Creuse	Houille	202.853	201.674
Dordogne	Lignite	505	2.377
Drôme	Idem	501	558
Gard	Houille	1.964.509	2.014.465
	Lignite	23.163	22.851
Hérault	Houille et anthracite	205.925	151.175
	Lignite	316	250
Isère	Anthracite	143.588	174.879
	Lignite	855	1.280
Jura	Idem	50	»
Loire	Houille et anthracite	3.468.155	3.361.161
Loire (Haute-)	Houille	190.112	236.355
Loire-Inférieure	Anthracite	12.084	12.695
Lot	Houille	4.925	2.808
Maine-et-Loire	Anthracite	18.563	17.288
Mayenne	Idem	60.003	56.373
Nièvre	Houille	189.779	188.039
Nord	Houille et anthracite	4.707.368	4.930.020
Pas-de-Calais	Houille	9.179.452	10.628.023
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	259.542	293.894
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.886	1.596
Rhône	Houille	37.569	38.437
Saône (Haute-)	Idem	221.761	225.144
	Lignite	8.582	10.763
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.746.535	1.820.846
Sarthe	Anthracite	12.361	10.645
Savoie	Idem	11.979	15.050
Savoie (Haute-)	Idem	110	40
Sèvres (Deux-)	Houille	17.991	20.553
Tarn	Idem	514.009	515.944
Var	Lignite	5.673	3.310
Vaucluse	Idem	3.171	3.984
Vendée	Houille	25.130	25.893
Vosges	Lignite	567	888
Récapitulation	Houille et anthracite	25.172.792	27.006.090
	Lignite	478.189	453.047
Totaux		25.650.981	27.459.137
Augmentation			1.808.156

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal officiel* du 4 mars 1895. Les chiffres concernant l'année 1894 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires*; tandis que la statistique de 1893, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

PRODUCTION PAR BASSIN.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS	PRODUITS 1893	PRODUITS 1894	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (*)	DÉPARTEMENTS OÙ LES BASSINS SONT SITUÉS	PRODUITS 1893	PRODUITS 1894
	tonnes	tonnes			tonnes	tonnes
I. — Houille et Anthracite.						
Nord et Pas-de-Calais	13.886.820	15.338.043	Valenciennes	Pas-de-Calais, Nord	13.884.290	15.335.660
			Le Boulonnais (Hardinghen)	Pas-de-Calais	2.530	2.383
Loire	3.506.546	3.407.933	Saint-Étienne (et Rive-de-Gier)	Loire, *Rhône*	3.467.934	3.360.994
			Sainte-Foy-l'Argentière	Rhône	37.569	38.437
			Communay	Isère	822	8.335
			Le Roannais (Roanne)	Loire, *Rhône*	221	167
Gard	2.005.802	2.060.631	Alais	Gard, Ardèche	1.970.583	2.020.352
			Aubenas	Ardèche	28.310	32.278
			Le Vigan	Gard	6.909	8.001
Bourgogne et Nivernais	1.979.304	2.052.945	Creusot et Blanzy	Saône-et-Loire	1.565.483	1.643.270
			Decize	Nièvre	189.779	188.039
			Épinac et Aubigny-la-Ronce	Saône-et-Loire, Côte-d'Or	117.651	121.146
			La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire	64.969	59.591
			Bert	Allier	31.852	35.082
			Sincey, *Forges*	Côte-d'Or, *Saône-et-Loire*	9.570	5.817
Tarn et Aveyron	1.419.854	1.448.948	Aubin	Aveyron	886.879	916.046
			Carmaux	Tarn	514.099	515.944
			Rodez	Aveyron	13.951	14.450
			Saint-Perdoux	Lot	4.925	2.808
Bourbonnais	1.106.490	1.174.300	Commentry (et Doyet)	Allier	860.571	906.100
			Saint-Eloy	Puy-de-Dôme	204.000	217.600
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	Allier	11.919	50.600
			La Queune (Fins et Noyant)	*Allier*	»	»
Auvergne	325.987	389.493	Brassac	Haute-Loire, Puy-de-Dôme	195.759	263.236
			Champagnac et Bourg-Lastic	Cantal, Puy-de-Dôme	110.191	108.834
			Langeac	Haute-Loire	20.037	17.423
Vosges méridionales	221.761	225.144	Ronchamp	Haute-Saône	221.761	225.144
Creuse et Corrèze	204.953	203.192	Ahun	Creuse	191.013	192.794
			Bourganeuf	Creuse	11.840	8.880
			Meymac et Argentat, Cublac (Terrasson)	Corrèze, *Dordogne*	2.100	1.518

Digitized by Google

Alpes occidentales.	163.218	190.839	*Le Drac (la Mure)*	Isère	142.570	165.946
			Maurienne-Tarentaise et Briançon.	Hautes-Alpes, Savoie.	20.342	24.253
			Oisans et *le Grésivaudan*.	Isère	196	600
			Chablais et Faucigny.	Haute-Savoie	110	40
Hérault.	205.925	151.175	Graissessac, *Roujan*.	Hérault.	205.925	151.175
Ouest.	146.132	143.447	Le Maine.	Mayenne, Sarthe	72.364	67.018
			Basse-Loire	Loire-Inférieure, Maine-et-Loire.	43.121	46.446
			Vouvant et Chantonnay.	Deux-Sèvres, Vendée.	30.647	29.983
			Le Cotentin (le Plessis).	*Manche*	»	»
			Saint-Pierre-la-Cour.	*Mayenne*	»	»
Les Maures	»	»	*Les Maures (Fréjus).*	*Var, Alpes-Maritimes*	»	»
Les Pyrénées	»	»	*Ibantelly, Durban et Ségure*	*Basses-Pyrénées, Aude.*	»	»
Totaux pour les houilles.	25.172.792	27.006.090			25.172.792	27.006.090

II. — Lignite.

Provence.	435.610	405.018	Fuveau (Aix).	Bouches-du-Rhône, *Var*	406.913	379.106
			Manosque	Basses-Alpes, *Vaucluse*.	27.260	24.022
			La Cadière.	Var.	1.437	1.890
Comtat	25.894	26.239	Bagnols, Orange, *Banc-Rouge, Vagnas*.	Gard, Vaucluse, *Ardèche*	22.894	22.804
			Barjac et Célas	Gard.	2.411	2.095
			Méthamis.	Vaucluse.	589	1.340
Vosges méridionales	9.149	11.651	*Montoulieu*	*Hérault*.	»	»
			Gouhenans, *Gémonval*.	Haute-Saône.	8.582	10.763
			Norroy	Vosges	567	888
Sud-Ouest	6.050	8.221	Millau et Trévezel.	Aveyron, Gard.	3.283	3.923
			Estavar, *Larquier, St-Lon, Orignac*.	Pyrénées-Orientales, *Landes, Hautes-Pyrénées*	1.886	1.596
			Simeyrols et *la Chapelle-Péchaud*.	Dordogne.	505	2.377
			La Caunette	Hérault, *Aude*.	316	250
Haut-Rhône	1.486	1.918	Murat.	Cantal	60	75
			La-Tour-du-Pin.	Isère	855	1.280
			Hauterives, *Montélimar*	Drôme	501	558
			Vercia, *Douvres*.	Jura, *Ain*.	130	80
			Entrevernes et Chambéry.	*Haute-Savoie, Savoie*.	»	»
Totaux pour les lignites.	478.189	453.047			478.189	453.047
Totaux généraux.	25.650.981	27.459.137			25.650.981	27.459.137

(*) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées, et les départements correspondants, ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION de LA FONTE suivant la nature du combustible	1893 FONTES d'affinage	1893 FONTES de moulage et moulée en 1re fusion	1893 PRODUCTION totale	1894 FONTES d'affinage	1894 FONTES de moulage et moulée en 1re fusion	1894 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Au coke	22.591	5.243	27.834	28 507	7.826	36.333
Ardèche	Au coke	16.841	1.073	17.914	8 164	1.708	9.872
Ariège	Au coke	10.024	»	10.024	13.861	336	14.197
Aveyron	Au coke	10.705	390	11.095	11.135	306	11.441
Bouches-du-Rhône	Au coke	9.274	2.099	11.373	7 305	5.116	12.421
Cher	Mixte	»	13.470	13.470	»	10.725	10.725
Dordogne	Au bois	110	»	110	400	110	510
Gard	Au coke	44.808	2.948	47.756	50 876	3.520	54.396
Isère	Au coke	34.153	59	34.212	24.475	607	25.082
Landes	Au coke	62.016	5 800	70.470	55.232	4.880	62.987
	Au bois	904	1.750		1.287	1.588	
Loire	Au coke	21.401	»	21.401	20.714	733	21.447
Loire-Inférieure	Au coke	50.532	10.631	61.163	23.454	6.427	29.881
Lot-et-Garonne	Au coke	1.268	14 615	15.883	529	14 815	15.344
Marne (Haute-)	Au coke	25.645	29.960	59.451	33.353	31,083	66.710
	Au bois	1.324	28		782	22	
	Mixte	»	2.491		»	1.470	
Meurthe-et-Moselle	Au coke	829.416	386.096	1.215.512	913.929	370.543	1.284.472
Nord	Au coke	205.979	»	205.979	224 116	»	224.116
Pas-de-Calais	Au coke	78.597	»	78.597	76.097	8.000	84.097
Pyrénées-Orientales	Au bois	1.665	»	1.665	2.227	»	2.227
Rhône	Au coke	12.195	2.940	15.135	12.591	2.712	15.303
Saône (Haute-)	Au bois	319	25	344	720	17	737
Saône-et-Loire	Au coke	80.495	»	80.495	89.758	»	89.758
Tarn	Au coke	1.853	1.360	3.213	2.712	2.849	5.591

Fonte	Au coke	1.517.793	463.214	1.981.007	1.596.838	461.461	2.058.299
	Au bois	4.322	1.803	6.125	5.416	1.737	7.153
	Mixte	»	15.961	15.964	»	12.195	12.195
Totaux		1.522.115	480.981	2.003.096	1.602.254	475.393	2.077.647
Diminution					»	5.588	»
Augmentations					80.139	»	74.551

PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1893 RAILS	1893 FERS marchands et spéciaux	1893 TÔLES	1893 PRODUCTION totale	1894 RAILS	1894 FERS marchands et spéciaux	1894 TÔLES	1894 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Réchauffage de vieux fers	»	»	105	105	»	»	103	103
Allier	Puddlage	101	18.449	6.853	26.703	151	19.959	7.892	29.225
	Affinage au charbon de bois	»	1.300	»		»	1.220	»	
Ardennes	Puddlage	»	19.191	11.761	81.062	»	53.827	12.135	87.956
	Affinage au charbon de bois	»	25	»		»	33	»	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	17.251	2.834		»	19.560	2.401	
Ariège	Puddlage	»	4.231	»	9.032	»	5.393	»	11.530
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	4.801	»		»	6.137	»	
Aube	Puddlage	»	3.821	»	4.278	»	4.024	»	5.041
	Affinage au charbon de bois	»	269	»		»	256	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	188	»		»	761	»	
Aveyron	Puddlage	137	6.081	509	11.516	243	5.984	355	10.092
	Réchauffage de vieux fers et riblons	219	3.169	631		262	2.706	512	
Bouches-du-Rhône	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	843	»	843	»	722	»	722
Côte-d'Or	Puddlage	»	3.699	650	5.913	»	3.820	560	6.276
	Affinage au charbon de bois	»	449	»		»	710	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.115	»		»	423	763	

PRODUCTION DES FERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1893 RAILS	1893 FERS marchands et spéciaux	1893 TÔLES	1893 PRODUCTION totale	1894 RAILS	1894 FERS marchands et spéciaux	1894 TÔLES	1894 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Côtes-du-Nord	Puddlage	»	355	»	2.319	»	»	»	»
	Réchauffage de vieux fers	»	1 964	»		»	»	»	
Dordogne	Puddlage	»	500	»	3.420	»	300	»	2.770
	Affinage au charbon de bois	»	320	»		»	1.250	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	2.600	»		»	1.220	»	
Doubs	Affinage au charbon de bois	»	2.694	979	5.700	»	4.691	901	7.192
	Réchauffage de vieux fers	»	1.241	786		»	1.052	545	
Eure	Réchauffage de vieux fers	»	4.712	»	4.712	»	6.280	»	6.280
Gard	Puddlage	12	10 112	»	10.124	25	8.240	»	8 265
Garonne (Haute-)	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.860	»	2.860	»	2.806	»	2.806
Ille-et-Vilaine	Réchauffage de vieux fers	»	75	»	75	»	85	»	85
Isère	Puddlage	»	56	»	3.436	»	68	»	3.730
	Réchauffage de vieux fers	»	3.380	»		»	3 662	»	
Jura	Puddlage	6	11.474	3.466	17 318	»	12.649	3.345	17.886
	Affinage au charbon de bois	»	150	»		»	139	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.719	503		»	1.328	425	
Landes	Puddlage	»	330	»	4.366	»	259	»	2.720
	Affinage au charbon de bois	»	683	»		»	850	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	3.353	»		»	1.611	»	
Loire	Puddlage	»	20.871	9.149	37.094	»	20.737	10.065	37.805
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	7.074	»		»	6.403	»	
Loire-Inférieure	Puddlage	»	2.800	432	7.492	»	2.735	279	9.820
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	4.260	»		»	6.806	»	
Lot-et-Garonne	Puddlage	»	140	»	140	»	16	»	16
Marne (Haute-)	Puddlage	»	52.252	3 442	64.449	»	46.365	4.212	62.301
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	8.648	107		»	11.630	94	
Meurthe-et-Moselle	Puddlage	»	41.762	7.406	50.068	»	41.116	6.219	49.278
	Réchauffage de vieux fers	»	900	»		»	1.943	»	
Meuse	Puddlage	»	6.247	»	6.947	»	7.858	»	8 608
	Réchauffage de vieux fers	»	700	»		»	750	»	
Nièvre	Puddlage	»	2.882	»	9.450	»	4.257	40	9.501
	Affinage au charbon de bois	»	2 753	115		»	1.065	89	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	3.700	»		»	1.050	»	
Nord	Puddlage	»	246.892	51.730	298.018	176	250.120	37.622	293.018

Oise	Puddlage	»	11.619	2.562	14.467	»	11.179	2.646	14.011
	Affinage au charbon de bois	»	»	286		»	»	186	
Orne	Réchauffage de vieux fers	»	12	»	12	»	14	»	14
Pyrénées-Orientales	Affinage au charbon de bois (foyers catalans)	»	77	»	106	»	119	»	148
	Réchauffage de vieux fers	»	29	»		»	29	»	
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Puddlage	»	»	»	»	»	180	»	355
	Affinage au charbon de bois	»	»	»		»	175	»	
Rhône	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	18	»	18	»	81	»	81
Saône (Haute-)	Affinage au charbon de bois	»	3	187	190	»	3	187	190
Saône-et-Loire	Puddlage	»	79.701	5.828	85.532	»	75.646	4.504	80.152
	Affinage au charbon de bois	»	»	3		»	»	2	
Sarthe	Affinage au charbon de bois	»	13	»	13	»	29	»	29
Savoie	Affinage au charbon de bois	»	39	»	39	»	»	»	44
	Réchauffage de vieux fers	»	»	»		»	44	»	
Savoie (Haute-)	Affinage au charbon de bois	»	90	»	2.019	»	91	»	2.770
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.127	802		»	1.870	809	
Seine	Réchauffage de vieux fers	»	28.002	»	28.002	»	28.936	»	28.936
Seine-Inférieure	Réchauffage de vieux fers	»	112	»	112	»	63	»	63
Seine-et-Oise	Réchauffage de vieux fers	»	2.480	»	2.480	»	2.914	»	2.914
Somme	Puddlage	»	656	»	3.313	»	830	»	3.150
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.657	»		»	2.320	»	
Tarn	Puddlage	»	1.974	»	3.591	»	1.168	»	1.648
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.617	»		»	480	»	
Vosges	Affinage au charbon de bois	»	»	190	190	»	»	210	210
Yonne	Réchauffage de vieux fers	»	17	»	17	»	16	»	16

RÉCAPITULATION.

Fer	Puddlé	556	576.695	103.684	680.935	598	582.730	90.474	673.802
	Affiné au charbon de bois	»	8.869	1.760	10.629	»	10.631	1.578	12.209
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	219	110.620	5.768	116.607	262	116.702	5.682	122.646
	Totaux	775	696.184	111.212	808.171	860	710.063	97.734	808.657
	Diminution					»	»	13.478	»
	Augmentations					85	13.879	»	486

Observations. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

Digitized by Google

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER.	1893					1894				
		PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS				PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin	PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS				PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin
		Rails	Aciers marchands	Tôles	Production totale		Rails	Aciers marchands	Tôles	Production totale	
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Fusion au foyer Bessemer	»	»	696	696	»	»	»	973	973	»
	Fusion au four Siemens-Martin	40	16.881	10.449		29.392	80	12.742	5.153		27.700
Allier	Puddlage	»	50	»	28.113	»	»	70	»	18.615	»
	Cémentation	»	50	»		»	»	40	»		»
	Fusion au creuset	»	640	»		»	»	530	»		»
Ardennes	Fusion au foyer Bessemer	»	10.023	3.875		»	»	11.384	7.406		2.435
	Fusion au four Siemens-Martin	»	69	4.718		5.969	»	182	7.598		9.149
	Cémentation	»	11	»	18.894	»	»	4	»	27.443	»
	Fusion au creuset	»	168	»		»	»	176	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	18	675		»
Ariège	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.080	»		3.098	»	1.102	»		3.374
	Puddlage	»	586	»		»	»	593	»		»
	Cémentation	»	40	»	2.769	»	»	6	»	1.729	»
	Fusion au creuset	»	6	»		»	»	12	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	57	»		»	»	16	»		»
Aube	Fusion au foyer Bessemer	»	2.858	»	2.858	»	»	2.605	»	2.605	»
Charente	Fusion au foyer Bessemer	»	280	»	280	»	»	288	»	288	»
Côte-d'Or	Fusion au foyer Bessemer	»	3.192	»		»	»	3.847	20		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	360		»	»	»	85		»
	Puddlage	»	»	»	3.693	»	»	»	201	4.327	»
	Cémentation	»	80	»		»	»	93	3		»
	Fusion au creuset	»	60	1		»	»	73	5		»
Doubs	Fusion au foyer Bessemer	»	5.020	»	10.276	»	»	6.617	»	11.563	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.982	2.271		3.870	»	1.925	3.021		4.396
Gard	Fusion au foyer Bessemer	20.744	67	»		24.952	19.615	33	»		23.023
	Fusion au four Siemens-Martin	136	12.711	»	33.739	17.098	161	9.482	»	29.340	12.489
	Réchauffage de vieil acier	40	41	»		»	»	28	»		»
Indre-et-Loire	Cémentation	»	56	»	56	»	»	»	»	»	»

Isère	Fusion au foyer Bessemer	»	73	»	5.677	»	»	110	»	4.530	28
	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.475	»		6.556	»	2.775	»		5.007
	Puddlage	»	1.346	»		»	»	982	»		»
	Cémentation	»	296	»		»	»	189	»		»
	Fusion au creuset	»	487	»		»	»	474	»		»
Jura	Fusion au foyer Bessemer	»	8.092	»	13.431	»	»	9 905	»	14 679	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.515	2.824		7.310	»	1.300	3.474		5.875
Landes	Fusion au foyer Bessemer	29.070	7.529	»	43.567	42.975	24.867	9.657	»	40.265	39.580
	Fusion au four Siemens-Martin	»	6 968	»		9.578	»	5.223	518		7.274
Loire	Fusion au foyer Bessemer	»	1.200	»	58.029	»	»	2.000	»	61.544	»
	Fusion au four Siemens-Martin	260	29.314	12 655		47.825	189	28.540	13.723		47.721
	Puddlage, affinage au charbon de bois	»	2.427	»		»	»	2.329	»		»
	Cémentation	»	528	»		»	»	635	23		»
	Fusion au creuset	»	7.586	212		»	»	7.473	470		»
	Réchauffage de vieil acier	»	3.847	»		»	»	5.413	749		»
Loire-Inférieure	Fusion au foyer Bessemer	11.421	295	300	25.745	16.204	5.475	3.650	740	21.450	15.779
	Fusion au four Siemens-Martin	»	7.075	6.654		12.750	»	3.801	7.784		17.716
Marne (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	16 215	805	23.080	»	»	9 860	973	23.511	100
	Fusion au four Siemens-Martin	»	6.060	»		7.190	»	12.678	»		13.318
Meurthe-et-Moselle	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	54 013	30.195	3.514	94.167	217.252	53 054	41.806	5.055	109.522	229.758
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.231	3.597		10.634	»	2.999	5.494		14.758
	Puddlage	»	921	382		»	»	940	330		»
	Fusion au creuset	»	»	25		»	»	»	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	289		»	»	»	147		»
Meuse	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	»	2.453	»	7.061	»	»	874	»	5.560	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	4.608	»		5.009	»	4.686	»		5.089
Morbihan	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	10.706	10.706	15.717	»	»	10.454	10.454	16.776
Nièvre	Fusion au four Siemens-Martin	45	13 994	700	16.499	16.859	35	14.861	1.240	16.913	17.983
	Puddlage	»	180	»		»	»	70	»		»
	Fusion au creuset	»	565	»		»	»	707	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	620	395		»	»	»	»		»
Nord	Fusion au foyer Bessemer	39 613	31.030	17 163	117.458	92.014	39.357	29.166	7.750	114.068	81.170
	Fusion au four Siemens-Martin	»	14.560	14.797		49.137	»	11.272	26.167		47.172
	Fusion au creuset	»	295	»		»	»	356	»		»
Oise	Fusion au foyer Bessemer	»	16.847	»	20.704	»	»	17.116	»	21.134	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	669	3.188		4.920	»	843	3.175		5.000
Pas-de-Calais	Fusion au foyer Bessemer	49.802	5.263	»	55.065	67.825	39.600	5.913	»	45.513	56.265
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.845	»	3.845	4.320	»	3.459	»	3.459	4.192
Rhône	Fusion au four Siemens-Martin	»	68	»	68	»	»	46	»	49	»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	3	»		»
Saône (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	1	960	1.022	»	»	»	1.370	1.430	»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	61		»	»	»	60		»
Saône-et-Loire	Fusion au foyer Bessemer	2.174	10.922	20.597	57.474	31.789	4.940	16 970	22.777	62.811	45.986
	Fusion au four Siemens-Martin	»	14 007	9.774		39.418	»	9.688	8.436		31.570
Savoie	Fusion au four Siemens-Martin	»	109	»	109	»	»	88	»	88	»
Savoie (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	375	»	375	»	»	»	»	418	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	»		»	»	»	418		»

PRODUCTION DES ACIERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER	1893 Production des aciers ouvrés : Rails	1893 Aciers marchands	1893 Tôles	1893 Production totale	1893 Production des lingots Bessemer et Siemens-Martin	1894 Production des aciers ouvrés : Rails	1894 Aciers marchands	1894 Tôles	1894 Production totale	1894 Production des lingots Bessemer et Siemens-Martin
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Seine	Fusion au foyer Bessemer	»	1 811	»	4 076	»	»	2 338	»	4 248	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.211	»		»	»	1.828	»		»
	Cémentation	»	3	»		»	»	3	»		»
	Fusion au creuset	»	21	»		»	»	79	»		»
Sèvres (Deux-)	Réchauffage de vieil acier	»	110	»	110	»	»	»	»	»	»
Tarn	Puddlage	»	1 382	»	2 740	»	»	1.644	»	3.069	»
	Cémentation	»	255	»		»	»	179	»		»
	Fusion au creuset	»	1 103	»		»	»	1.246	»		»
Vosges	Fusion au foyer Bessemer	»	»	1.650	1.650	»	»	»	1.657	1 657	»
	RÉCAPITULATION.										
Acier	Fondu au foyer Bessemer	206.837	156 771	49 561	410 169	493.011	186 938	174.139	48.721	409.798	494 124
	Fondu au four Siemens-Martin	481	145 435	82 726	228 642	296.841	465	129.520	96.437	226.422	296.649
	Puddlé et de forge	»	6.892	382	7.274	»	»	6.628	531	7.159	»
	Cémenté	»	1.319	»	1 319	»	»	1.149	26	1 175	»
	Fondu au creuset	»	10 931	237	11 168	»	»	11 126	475	11.601	»
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	40	1.675	745	5.460	»	»	5.478	1.631	7.109	»
	Totaux	207 358	323 023	133 651	664 032	789.852	187.403	328,040	147.821	663.264	790.773
	Augmentations						»	5,017	14 170	»	921
	Diminutions						19.955	»	»	768	»

La production des lingots ne correspond pas exactement à celle des aciers ouvrés Bessemer et Martin, car il y a lieu de tenir compte des variations du stock.

ÉTUDE

SUR

L'ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR DANS LES TUYAUX

Par M. AUSCHER, Ingénieur de la marine.

Cette étude a été entreprise pour élucider une question des plus importantes pour la construction des machines à vapeur.

On conçoit, en effet, l'intérêt qui s'attache à assurer le fonctionnement des machines dans de bonnes conditions, en donnant au tuyautage d'alimentation la plus grande solidité possible.

Un des meilleurs moyens d'augmenter cette solidité est de ne pas exagérer le diamètre des tuyaux.

Cette condition est particulièrement importante à réaliser pour les tuyautages de machines marines, dont le parcours est souvent assez sinueux, par suite des nécessités locales. Il faut alors tenir compte, non seulement de la fatigue des tuyaux suivant une génératrice, mais encore des poussées souvent considérables qui s'exercent sur les coudes et des déformations permanentes qui peuvent en être la conséquence.

Ces déformations sont d'autant plus dangereuses qu'elles s'exercent précisément sur des parties façonnées du tuyautage, où le cuivre a été recuit. Or, on sait que la limite élastique du cuivre recuit est extrêmement réduite.

Il ne faut pas non plus perdre de vue que les difficultés de fabrication augmentent beaucoup avec le diamètre des tuyaux, tout au moins en ce qui concerne les tuyaux en cuivre.

Les tuyaux sans soudure, qui présentent certainement des garanties particulières de solidité sont aujourd'hui d'un emploi courant, mais ne peuvent être obtenus de l'industrie qu'à la condition de ne pas dépasser un certain diamètre.

Les considérations qui précèdent justifient suffisamment l'utilité de l'étude que nous présentons et nous ne doutons pas que l'établissement rationnel des canalisations de vapeur ne contribue dans une large mesure à diminuer le nombre des accidents causés par les ruptures de tuyaux, et à les rendre moins désastreux.

Nous noterons, pour être complet, deux autres avantages des canalisations à sections réduites :

1° Diminution des pertes par refroidissement et condensation ;

2° Réduction d'encombrement et de poids (ce dernier avantage étant particulièrement appréciable à bord des navires.)

Les expériences que nous avons entreprises ont été faites dans l'établissement national de la marine à Indret. Elles ont permis de réduire notablement les sections des tuyautages de vapeur des machines marines les plus récentes, par rapport à ce qui se faisait précédemment.

Les résultats que nous avons obtenus nous ont conduit à un ensemble de formules qui permettent de calculer d'une manière méthodique et rationnelle une canalisation de vapeur (*).

(*) Les premières recherches sur cette question ont été faites à Indret par M. l'ingénieur Garnier sur des tuyaux de 20 et 30 millimètres de diamètre. La vapeur, après avoir passé dans le tuyau, alimentait une pompe alimentaire du *Jean Bart*, dont

I. — Installation servant aux expériences.

Les *fig.* 1 et 2 de la Pl. VIII et la *fig.* 1 de la Pl. IX représentent cette installation. Le tuyau en expérience TT est alimenté par une chaudière C, installée en chambre close. Ce tuyau part de la boîte d'arrêt de la chaudière, et aboutit, après avoir fait un coude, dans un réservoir R. Un tuyau d'échappement D fait communiquer ce réservoir avec un condenseur muni d'une turbine de circulation et d'une pompe à air.

Un manomètre différentiel à mercure *mm* permet de lire la dépression entre la boîte d'arrêt de la chaudière et le réservoir. On règle cette dépression en ouvrant plus ou moins une boîte d'arrêt A placée à l'origine du tuyau d'échappement D. La vapeur condensée est refoulée dans des caisses GG munies d'échelles de jauge. Chaque caisse peut contenir 3.000 litres.

Pendant qu'on refoule dans l'une des caisses, on vide l'autre pour l'expérience suivante. On avait vérifié au préalable l'étanchéité du condenseur.

La légende du plan permet de se rendre compte de tous les détails accessoires de l'installation.

Nous avons successivement opéré sur des tuyaux ayant les dimensions suivantes :

	Diamètre.	Longueur.
Tuyau n° 1	0,100	12^{m},85
— n° 2	0,100	25 ,70
— n° 3	0,100	50 ,00
— n° 4	0,050	25 ,00
— n° 5	0,050	50 ,00

Pour chaque tuyau, on a fait une série d'expériences à des pressions variant de 0^{kg},300 à 10 kilogrammes effec-

on réglait l'allure au moyen de refoulement. Cette pompe servait à jauger la vapeur écoulée.

Digitized by Google

tifs, avec une dépression allant de 0 à 800 millimètres de mercure. Pour l'un des tuyaux (n° 4), nous avons poussé la dépression jusqu'à 3 kilogrammes. A la fin de chaque expérience, on notait la durée en minutes T et le débit en litres A. Si γ est le poids du mètre cube de vapeur à la pression moyenne considérée, et S la section du tuyau, la vitesse moyenne de la vapeur dans le tuyau sera en mètres, par seconde :

$$v = \frac{A}{T \times 60} \times \frac{1}{S\gamma}.$$

Dans les limites des dépressions obtenues, on peut, sans erreur sensible, prendre pour γ le poids du mètre cube de vapeur à la pression de la chaudière. En procédant ainsi, les valeurs calculées de v sont un peu faibles, et le chiffre que nous en déduirons ultérieurement pour le coefficient de frottement de la vapeur sera un peu fort.

II. — Formule générale d'écoulement des fluides.

Pour interpréter les résultats de nos expériences, nous nous baserons sur les considérations suivantes :

Soit :

y la dépression en millimètres de mercure mesurée entre les extrémités du tuyau en expérience;
l la longueur du tuyau en mètres;
d le diamètre du tuyau en mètres;
v la vitesse d'écoulement de la vapeur dans le tuyau en mètres par seconde ;
γ le poids du mètre cube de vapeur, à la pression considérée en kilogrammes.

La formule générale d'écoulement des fluides est :

$$y = k\gamma v^2,$$

K étant un coefficient qui dépend des dimensions l et d,

Digitized by Google

et des particularités que peut présenter l'installation, telles que coudes, étranglements, élargissements brusques, débouché dans un réservoir, etc...

D'autre part, la *dépression totale* Y comprend deux parties :

1° La dépression due au frottement de la vapeur dans le tuyau, que nous appellerons *dépression normale.*

Elle est de la forme :

$$y = \gamma v^2 B \frac{l}{d},$$

où B est un coefficient de frottement que nous supposons constant, c'est-à-dire indépendant de la vitesse de la vapeur dans le tuyau, ainsi que de la section du tuyau, sauf à vérifier ultérieurement que cette hypothèse est justifiée.

2° L'ensemble des dépressions dues aux accidents de l'installation, étranglements, coudes, etc..., que nous appellerons *dépression additionnelle.*

Nous les grouperons sous la forme

$$y' = \gamma v^2 A,$$

A variant d'une installation à l'autre.

La formule générale d'écoulement prend donc la forme :

$$Y = \gamma v^2 \left(A + B \frac{l}{d}\right).$$

III. — Concordance des formules précédentes avec nos expériences.

Nous avons, pour chaque tuyau en expérience, porté les vitesses en ordonnées en prenant pour abscisses les dépressions totales relevées avec le manomètre différentiel (Pl. X et XI). Pour chaque pression, nous obtenons ainsi une série de points. On constate alors que pour un tuyau donné, placé dans des conditions déterminées :

1° Le rapport $\frac{v^2}{Y}$ est constant pour une même pression;

2° Le rapport $\frac{v^2\gamma}{Y}$ est constant quand on passe d'une pression à une autre.

La formule $Y = K\gamma v^2$ se trouve donc vérifiée expérimentalement.

Les courbes des planches X et XI résument toutes les expériences.

Ces courbes sont des paraboles qui satisfont aux conditions énoncées plus haut :

$\frac{v^2}{Y}$ constant sur une même courbe

$\frac{v^2\gamma}{Y}$ constant sur un même réseau.

A chaque tuyau expérimenté correspond un réseau de courbes d'égale pression.

Nous indiquons, sur les mêmes planches, les valeurs de $\frac{v^2}{Y}$ relatives à chaque courbe et les valeurs de $\frac{v^2\gamma}{Y}$ relatives à chaque réseau.

Nous avons marqué l'ensemble des points relevés expérimentalement. Ces points se trouvent très sensiblement sur les courbes; nous n'avons éliminé qu'un très petit nombre d'expériences manifestement entachées d'erreurs.

La constance de $\frac{v^2\gamma}{Y}$, constance que la théorie faisait prévoir et que les faits confirment pour toute l'étendue d'un réseau, prouve l'exactitude pratique de nos mesures expérimentales.

Nous remarquerons que cette concordance n'a pas été troublée par les changements qui ont pu survenir dans

Digitized by Google

le degré de siccité de la vapeur. On doit en conclure que les perturbations qui résultent de ces changements sont effectivement négligeables, ou bien que le degré de siccité n'a pas varié sensiblement d'une chauffe à l'autre pendant toute la durée des essais.

IV. — Calcul des coefficients dans la formule

$$Y = \gamma v^2 \left(A + B \frac{l}{d} \right).$$

Nous venons de voir qu'à chaque tuyau en expérience correspond une valeur déterminée de l'expression $A + B \frac{l}{d}$ qui caractérise un réseau de courbes d'égale pression.

Nous donnons ci-dessous le tableau de ces valeurs, pour les cinq tuyaux que nous avons expérimentés. (Pour plus de clarté, nous numérotons les tuyaux.)

NUMÉROS des tuyaux	LONGUEUR DU TUYAU	DIAMÈTRE DU TUYAU	VALEUR de $A + B \frac{l}{d}$
1	$l = 12,85$	$d = 0,100$	$\frac{1}{84} = 0,0119$
2	$l' = 25,70$	$d = 0,100$	$\frac{1}{52} = 0,0192$
3	$l'' = 50$	$d = 0,100$	$\frac{1}{30} = 0,0333$
4	$\lambda = 25$	$\delta = 0,050$	$\frac{1}{31} = 0,0322$
5	$\lambda' = 50$	$\delta = 0,050$	$\frac{1}{17} = 0,0588$

Dans les trois premières séries d'expériences, la longueur seule ayant varié, les pertes de charge étrangères ont dû rester les mêmes. Ces trois séries doivent comporter une même valeur de A. Les deux séries 4 et 5, faites avec un diamètre différent, doivent comporter une autre valeur A′.

Nous avons donc les équations :

(1) $$A + B\frac{l}{d} = 0{,}0119$$

(2) $$A + B\frac{l'}{d} = 0{,}0192$$

(3) $$A + B\frac{l''}{d} = 0{,}0333$$

(4) $$A' + B\frac{\lambda}{\delta} = 0{,}0322$$

(5) $$A' + B\frac{\lambda'}{\delta} = 0{,}0588.$$

(1) et (2) donnent : $A = 0{,}0046$
$B = 0{,}000056$

(2) et (3) donnent : $A = 0{,}0043$
$B = 0{,}000058$

(4) et (5) donnent : $A' = 0{,}0056$
$B = 0{,}000053.$

Ces résultats donnent lieu aux remarques suivantes :

1° Les deux valeurs de A déduites des équations (1), (2) et (3) sont 0,0046 et 0,0043. Ces quantités sont égales à 6 p. 100 près. C'est la confirmation expérimentale de ce fait que les pertes de charge étrangères conservent la même valeur quand on modifie la longueur du tuyau, sans rien changer au diamètre et aux autres conditions de l'installation.

2° On peut, dès à présent, se rendre compte de l'importance relative des pertes de charge étrangères.

En effet :

Y étant la dépression totale
y' étant la dépression additionnelle,

on a :

$$y' = \gamma v^2 A$$

$$Y = \gamma v^2 \left(A + B\frac{l}{d}\right)$$

$$\frac{y'}{Y} = \frac{A}{A + B\frac{l}{d}}.$$

Digitized by Google

Calculons ce rapport pour les cinq tuyaux expérimentés :

NUMÉROS du tuyau	DIMENSIONS	A	$A + B \frac{l}{d}$	$\frac{y'}{Y}$
1	12,85 de long et 0,100 de diamètre. . .	0,0046	0,0119	0,39
2	25,70 id. 0,100 id. . . .	0,0046	0,0192	0,24
3	50 id. 0,100 id. . . .	0,0046	0,0333	0,14
4	25 id. 0,050 id. . . .	0,0056	0,0322	0,17
5	50 id. 0,050 id. . . .	0,0056	0,0588	0,09

Pour le tuyau n° 5, la dépression additionnelle n'atteint pas 10 p. 100 de la dépression totale et pourrait, à la rigueur, être négligée ; pour le tuyau n° 1, au contraire, la dépression additionnelle 39 p. 100 de la dépression totale et devient comparable à la dépression normale.

3° Les trois valeurs de B tirées de nos expériences sont :

0,000056
0,000058
0,000053

L'écart maximum entre ces valeurs n'atteint pas 9 p. 100, ce qui confirme l'hypothèse que nous avons faite, dès le début, sur la constance de B.

V. — Formule générale donnant la dépression normale dans un tuyau.

Prenons en chiffres ronds, $B = 0,00006$.

La formule exprimant la relation entre la dépression normale y et la vitesse de la vapeur, son poids par mètre cube et les dimensions du tuyau, est :

$$y = \gamma v^2 \frac{l}{d} \times 0,00006,$$

dans laquelle on exprime :

v en mètres par secondes;
l et d en mètres;
γ en kilogrammes;
y en millimètres de mercure.

Si la dépression normale est exprimée en mètres d'eau, on aura, en appelant z cette dépression :

$$z = y \times \frac{13,6}{1000}.$$

Par suite :

$$z = \gamma v^2 \frac{l}{d} \times 13,6 \times \frac{6}{10^8}.$$

Remarque. — Exprimons la perte de charge Δp en kilogrammes par mètre carré; de plus, introduisons dans la formule le rapport $\frac{c}{a} = \frac{\pi d}{\pi \frac{d^2}{4}}$ du périmètre à la section du tuyau, il vient :

$$\Delta p = y \times 13,6$$
$$\frac{c}{4a} = \frac{1}{d}$$

et par suite :

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = v^2 l \frac{c}{a} \times 0,0002.$$

La formule prend ainsi la forme généralement usitée dans les ouvrages traitant de l'écoulement des fluides; le coefficient de frottement ressort à 0,0002 et il est intéressant de noter que cette valeur est très comparable à celle de 0,00036 admise pour les gaz.

Formule pratique donnant la dépression normale. — Pour éviter tout mécompte et aussi pour tenir compte de l'augmentation possible du frottement par suite d'oxydation ou de dépôts graisseux sur les parois du tuyau, nous

Digitized by Google

multiplierons le chiffre 0,0002, déduit de nos expériences, par le coefficient de sécurité 2 et nous adopterons la valeur 0,0004.

Si maintenant nous exprimons la dépression normale en mètres d'eau, et si nous mettons en évidence le facteur $\frac{1}{2g. \times 1000}$, la formule devient :

$$z = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1.000} \times \frac{l}{d} \times 0,03.$$

- z dépression normale en mètres d'eau ;
- v vitesse de la vapeur en mètres par seconde;
- l longueur du tuyau en mètres;
- d diamètre;
- γ poids du mètre cube de vapeur en kilogrammes.

VI. — Dépression additionnelle.

Telle est la formule pratique d'écoulement. C'est sous cette forme que nous aurons l'occasion de l'employer quand nous ferons l'étude d'une canalisation de vapeur.

La dépression normale étant connue, il faudrait, pour aborder l'étude complète d'une canalisation, pouvoir déterminer *a priori* toutes les pertes de charge étrangères. M. l'ingénieur Garnier, dont les recherches sur cette question datent de 1890, estimait que les divers cas que l'on rencontre dans les tuyautages, tels que coudes, étranglements, élargissements brusques, débouché dans un réservoir, peuvent être résolus avec une approximation suffisante en se servant des formules ordinaires de l'hydraulique.

Pour vérifier cette hypothèse, il avait introduit dans un tuyau de $3^m,50$ de long et $0^m,040$ de diamètre des diaphragmes dont les ouvertures étaient successivement $0^m,015$, $0^m,018$ et $0^m,020$.

Les écarts entre les dépressions, dues à l'étranglement, mesurées directement, et celles calculées par la

Digitized by Google

formule de l'hydraulique :

$$z = \frac{\gamma v^2}{2g \times 1000} \left(\frac{\omega}{\omega_1 \times 0{,}6} - 1\right)^2$$

n'ont pas dépassé 15 p. 100, malgré le peu de précision que comportait l'installation assez sommaire qui servait alors aux expériences.

Nous pourrons compléter ce genre de vérifications en comparant, dans nos expériences, d'une part, la somme de toutes les pertes de charge, spéciales à notre installation, calculées par les formules ordinaires de l'hydraulique, d'autre part, la dépression additionnelle déduite directement de nos expériences.

En se reportant aux valeurs :

$$A = 0{,}0046$$
$$A' = 0{,}0056$$

précédemment calculées, on a :

	DÉPRESSION ADDITIONNELLE	
	en millimètres de mercure	en mètres d'eau
Pour les tuyaux de 0,100 de diamètre.	$y' = v^2\gamma \times 0{,}0046$	$z' = v^2\gamma \times 0.0046 \times \frac{13{,}6}{1.000}$
Pour les tuyaux de 0,050 de diamètre.	$y' = v^2\gamma \times 0{,}0056$	$z' = v^2\gamma \times 0{,}0056 \times \frac{13{,}6}{1.000}$

En examinant, d'autre part, les causes de perte de charge étrangères, nous trouvons (*fig*. 1, Pl. IX) :

1° Perte totale de vitesse au débouché du tuyau dans le réservoir R;

Dépression correspondante $\frac{v^2\gamma}{2g \times 1000}$ en mètres d'eau;

2° Déviation des veines fluides passant de la boite d'arrêt dans un tuyau de section plus petite ;

Dépression correspondante $\frac{v^2\gamma}{2g \times 1000} \times \alpha$,

Digitized by Google

α étant un coefficient de résistance convenablement choisi.

Dans nos expériences, la boîte d'arrêt a $0^m,140$ de diamètre :

$$\Delta = 0{,}140.$$

Les tuyaux ont, dans les trois premières séries d'expériences, $0^m,100$ de diamètre :

$$d = 0{,}100.$$

Les tuyaux ont, dans les deux dernières séries d'expériences, 0,050 de diamètre :

$$\delta = 0{,}050.$$

α dépend des sections relatives, mais doit être compris entre un minimum 0 correspondant à $\frac{\Delta}{d} = 1$ et un maximum 0,5 correspondant au cas d'un ajutage cylindrique débouchant d'un réservoir très grand.

Nous aurions encore à tenir compte de la présence du coude S; mais la dépression qui en résulte est négligeable devant les deux autres.

La dépression additionnelle totale sera donc :

$$z' = \frac{v^2\gamma}{2g \times 1000}(1 + \alpha).$$

En égalant successivement cette expression à celles déduites de nos expériences, savoir :

$$v^2\gamma \times \frac{0{,}0046 \times 13{,}6}{1000} \text{ pour les tuyaux de } 0{,}100,$$

$$v^2\gamma \times \frac{0{,}0056 \times 13{,}6}{1000} \text{ pour les tuyaux de } 0{,}050,$$

on trouve, tous calculs faits :

RAPPORT DES DIAMÈTRES de la boite d'arrêt et du tuyau	RAPPORT DES SECTIONS de la boite d'arrêt et du tuyau	VALEUR CORRESPONDANTE de α
$\frac{\Delta}{d} = 1,4$	$\frac{\Delta^2}{d^2} = 1,96$	0,226
$\frac{\Delta}{\delta} = 2,8$	$\frac{\Delta^2}{\delta^2} = 7,84$	0,492

L'hypothèse émise par M. l'ingénieur Garnier et vérifiée par lui dans le cas d'un étranglement par diaphragme, se trouve donc confirmée à nouveau dans le cas plus complexe de deux pertes de charge superposées provenant l'une d'un ajutage, l'autre du débouché dans un réservoir.

On pourrait pousser plus loin ce genre de vérifications et étudier en détail l'influence de tous les accidents qui peuvent se présenter dans une canalisation.

En pratique, il sera suffisant d'appliquer les formules ordinaires de l'hydraulique, en assimilant, autant que possible, les accidents variés qu'on rencontre dans un tuyautage à des cas simples donnant pour les pertes de charge des valeurs maxima. En opérant ainsi, on sera conduit à calculer largement les sections des tuyaux.

Ainsi, dans l'article précédent, nous calculerions la dépression additionnelle en prenant pour α la valeur limite 0,5.

VII. — Étude d'une canalisation. Formules à employer.

La relation actuellement en usage pour déterminer les sections des tuyaux de vapeur dans les machines est

$$\frac{SV}{s} = v$$

où

S est la section du cylindre d'admission,

Digitized by Google

s la section du tuyau,
V la vitesse moyenne du piston,
v la vitesse de la vapeur.

Si on se donne v *a priori*, on en déduit : $s = \frac{SV}{v}$.

La relation précédente peut se mettre sous la forme

$$s = UNk,$$

où

U est le volume du cylindre d'admission,
N le nombre de tours,
k une constante.

Appliquer cette formule revient, par suite, à proportionner le tuyau au volume du cylindre d'admission et au nombre de tours. Cette manière de faire, même restreinte à des machines marchant à la même pression et à la même introduction, ne se justifie guère, car elle conduit simplement à fixer la vitesse de la vapeur, ce qui n'a qu'un intérêt secondaire, la question principale étant de ne pas dépasser les dépressions maxima qu'on s'est imposées.

La vitesse de la vapeur, loin d'être constante, devrait donc varier d'une machine à l'autre, dans des limites plus ou moins étendues qui dépendront de la pression, de la longueur du tuyautage et des particularités de l'installation, étranglements, coudes, etc...

C'est en partant d'une formule irrationnelle que nous avons été conduit, comme nous le montrerons, à donner aux tuyaux des machines faites depuis quelques années ou en cours d'exécution des sections beaucoup trop grandes, sans que les inconvénients qui en résultent et que nous avons fait ressortir au début de cette étude, soient compensés par aucun avantage appréciable.

Nous donnons ci-après les formules que nous proposons d'employer pour l'étude d'une canalisation de va-

Digitized by Google

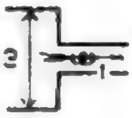
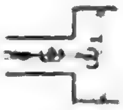
peur. La première formule est celle qui résulte de nos expériences sur le frottement de la vapeur dans les tuyaux ; les autres sont les formules ordinaires de l'hydraulique. Elles suffiront pour résoudre tous les cas qu'on peut rencontrer dans la pratique.

(1) Frottement dans un tuyau $z = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000} \times \frac{l}{d} \times 0{,}03.$

Les autres formules sont de la forme :

$$z' = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000} \times \alpha,$$

α étant un coefficient de résistance convenablement choisi.

	VALEUR DE α	OBSERVATIONS
(2) Coude de rayon moyen r et de longueur s. . .	$\frac{s}{r^2}(0{,}004 + 0{,}02\,r)$	Formule donnée par Navier.
(3) Ajutage cylindrique. . . . . 	0,5	La vitesse v se rapporte à la section ω.
(4) Tuyau débouchant dans un bassin.	1	
(5) Petit tuyau débouchant dans un grand.	1	
(6) Branchement d'équerre.	2	v est la vitesse dans le tuyau de dérivation. (Formule donnée par M. Belanger.)
(7) Coude brusque à 90°.	1	D'après l'aide-mémoire de la Hütte.
(8) Étranglement dans un tuyau . .	$\left(\frac{\omega}{\omega_1 \times 0{,}6} - 1\right)^2$	v est la vitesse dans la section ω.
(9) Élargissement brusque. . . . . . 	$\left(1 - \frac{\omega}{\omega_1}\right)^2$	v est la vitesse dans la section ω.
(10) Soupape d'arrêt.	$\left(1{,}645\,\frac{\omega}{\omega_1} - 1\right)^2$ $= 0{,}4$ si $\omega = \omega_1$	ω_1 est la section à l'endroit du siège. Si la soupape est ouverte en grand $\omega = \omega_1$

En supposant les soupapes ouvertes en grand, la dépression à la sortie d'une chaudière comprendra :

1° La perte de charge due à la réduction de section, soit un coefficient de résistance (ajutage cylindrique) 0,5

2° La perte de charge due à la déviation des veines fluides autour du siège de la soupape, soit un coefficient de résistance (formule 10). 0,4

Au total, le coefficient de résistance sera $0,5 + 0,4$; nous prendrons 1.

Nous rappelons que dans les formules précédentes :

z est la dépression normale en mètres d'eau,
z' la perte de charge relative au cas considéré,
γ le poids du mètre cube de vapeur en kilogrammes,
l et d la longueur et le diamètre du tuyau en mètres,
v la vitesse de la vapeur en mètres par seconde.

A l'aide de ces formules, on calculera les pertes de charges de toute nature dont l'ensemble constitue la dépression additionnelle. En y ajoutant la dépression normale z, on aura la dépression Z, entre les extrémités du tuyau considéré, soit une relation de la forme :

$$Z = \gamma v^2\left(M + N\frac{L}{D}\right).$$

S'il s'agit d'une machine existante, cette relation permettra de calculer Z en fonction de v, L et D.

S'il s'agit de faire une étude de tuyautage, on se donnera Z *a priori;* avec les pressions élevées actuellement en usage, nous ne verrions aucun inconvénient à accepter entre les machines et la chaudière la plus éloignée une chute de pression de 1 kilogramme, soit 10 mètres d'eau.

On aurait alors une première relation :

$$10 = \gamma v^2\left(M + N\frac{L}{D}\right).$$

D'autre part le produit vD^2 doit avoir une certaine

valeur Q qui dépend uniquement de la puissance à réaliser et de la consommation de la machine

$$vD^2 = Q.$$

Les deux équations précédentes déterminent v et D.

En général à bord des navires, l'installation comporte un certain nombre de chaudières dont les arrivées de vapeur sont placées en dérivation sur le collecteur principal. On devra, par suite, décomposer le tuyau collecteur en un certain nombre de tronçons, puis étudier séparément les diverses fractions de tuyautage.

En pratique, il conviendra, comme nous l'avons déjà fait remarquer, de calculer *largement*. Ainsi, pour toute réduction de section, on pourra adopter la formule $z' = \frac{\gamma v^2 \times 0,5}{2g.\,1.000}$, où 0,5 est un coefficient maximum s'appliquant au cas d'un ajutage cylindrique débouchant d'un réservoir indéfini.

VIII. — Influence d'un réservoir placé à proximité de la machine.

Les formules précédentes supposent que l'écoulement de la vapeur s'effectue dans le tuyau d'une manière uniforme et continue.

On peut admettre qu'il en est ainsi dans les machines où le collecteur alimente deux cylindres admetteurs calés à 90°. Dans la plupart des machines actuelles, chaque tuyau collecteur ne dessert qu'un seul cylindre d'admission. Le phénomène est alors plus complexe : pendant la période de détente la vapeur s'accumule dans le tuyautage, où elle constitue une réserve pour la période d'introduction. Si cette réserve est suffisante, l'alimentation de vapeur sera largement assurée pendant l'admission, la dépression sera très faible, et on se trouvera, en définitive, dans des conditions comparables au point

Digitized by Google

de vue de l'écoulement au cas où la même quantité de vapeur serait débitée d'une manière continue.

Ceci posé, s'il existe à proximité du cylindre, un réservoir de dimensions suffisantes, celui-ci fonctionnera comme un véritable régulateur, s'approvisionnant de vapeur pendant la détente, alimentant la machine pendant l'introduction, et l'efficacité de ce réservoir sera d'autant plus grande qu'il sera plus près de la machine et que les sections des tuyaux seront plus réduites.

Des réservoirs de l'espèce existent, en fait, sur un grand nombre de machines, sous le nom d'épurateurs, de séparateurs, etc.

Leur rôle comme *régulateurs de débit* mérite d'être mis en évidence et leur emploi permettrait certainement de réduire les sections des tuyaux en dehors de toute autre considération.

IX. — Étude du tuyautage de vapeur de la « Mitraille ».

Nous donnons Pl. IX, *fig.* 2, le schéma de l'installation. Elle comporte trois chaudières en dérivation; R est un réservoir épurateur, *st* est le tuyau qui dessert l'une des machines.

Calculons avec nos formules, la dépression totale entre le point *t* correspondant à la machine et le point *a* qui correspond à la boite d'arrêt de la chaudière la plus éloignée.

Nous décomposerons le tuyautage en quatre tronçons dont les diamètres successifs d, d', d'', d''', sont supposés établis en vue d'une même vitesse v.

Suivons le tuyautage de *a* jusqu'en *t*, et écrivons les diverses dépressions en tenant compte de tous les accidents que nous rencontrerons.

Digitized by Google

Nous, aurons au facteur $\frac{\gamma v^2}{2g.1.000}$ près :

Boîte d'arrêt.	1
Frottement dans la longueur *abce*.	$\frac{4,23 \times 0,03}{d} = \frac{0,127}{d}$
Cube *bc*.	$\frac{1}{0,64^2}(0,004 + 0,02 \times 0,64) = 0,03$
Élargissement du tuyau en *e*. . . .	$\left(1 - \frac{d^2}{d'^2}\right)^2$
Frottement dans le tronçon *ef*. . .	$\frac{1,62 \times 0,03}{d'} = \frac{0,049}{d'}$
Élargissement en *f*.	$\left(1 - \frac{d'^2}{d''^2}\right)^2$
Frottement dans le tronçon *fghs*.	$\frac{4,93 \times 0,03}{d''} = \frac{0,148}{d''}$
Débouché dans le réservoir R	1
Sortie du réservoir R.	$0,5$
Branchement en *s*.	2
Frottement dans le tronçon *st*. . .	$\frac{0,66 \times 0,03}{d'''} = \frac{0,02}{d'''}$

En additionnant, on aura la dépression totale Z.

Les diamètres étant établis en vue d'une même vitesse, on a :

$$d' = d\sqrt{2},$$
$$d'' = d\sqrt{3},$$
$$d''' = d\sqrt{\frac{3}{2}}.$$

Tous calculs faits, on trouve :

$$Z = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000}\left(4,89 + \frac{0,263}{d}\right).$$

Sur la *Mitraille*, il résulte des chiffres relevés aux essais pour la puissance et la consommation que $v = 20$ mètres pour une pression de $6^{kg},50$ à laquelle correspond une valeur de $\gamma = 3,86$. D'autre part $d = 0,140$.

On trouve ainsi :

$$Z = \frac{3,86 \times 20^2}{2g \cdot 1000}(4,89 + 1,88) = 0^m,523.$$

Digitized by Google

Ainsi la dépression entre la machine et la chaudière la plus éloignée serait de $0^m,523$, soit de $0^{kg},052$. Réciproquement en se donnant, *a priori*, une dépression maxima de 52 grammes, on eût été conduit, avec nos formules à donner au tuyautage les dimensions qu'il a effectivement.

Supposons maintenant qu'on eût accepté une dépression de 500 grammes, ce qui eût été très admissible pour des chaudières à $6^{kg},500$. Nous aurons une première relation :

$$(1) \qquad Z = 5 = \frac{3,86 \times v^2}{2g \cdot 1000}\left(4,89 + \frac{0,263}{d}\right).$$

D'autre part le produit vd^2 doit avoir une valeur déterminée proportionnelle au débit d'une chaudière.

Sur la *Mitraille*, on a :

$$(2) \qquad vd^2 = 0,392.$$

Pour obtenir v et d, on résoudra les équations (1) et (2) soit par approximations successives, soit par une intersection de courbes.

On trouve ainsi :

$$d = 0,085,$$
$$v = 55^m.$$

Le tableau ci-dessous permet de comparer les dimensions adoptées pour le tuyautage de la *Mitraille* et celles auxquelles on serait conduit avec nos formules en acceptant une dépression de 500 grammes :

Première solution.	*Deuxième solution.*
$d = 0,140,$	$d = 0,085,$
$d' = 0,200,$	$d' = 0,120,$
$d'' = 0,250,$	$d'' = 0,150,$
$d''' = 0,160,$	$d''' = 0,110,$
$Z = 0^{kg},052, \quad v = 20^m.$	$Z = 0^{kg},500, \quad v = 55^m,$

Digitized by Google

X. — Étude du tuyautage de vapeur du « Hoche ».

Chaque collecteur comporte quatre chaudières en dérivation (Pl. IX, *fig*. 3).

Soient d, d', d'', les diamètres successifs du tuyautage.

Prenons le tuyautage depuis la chaudière la plus éloignée jusqu'à la machine, suivant *abcdefg*.

Nous aurons :

Boîte d'arrêt.	1
Frottement dans le tuyau *ab*. . . .	$\frac{3{,}30 \times 0{,}03}{d} = \frac{0{,}099}{d}$
Débouché *b*	1
Frottement dans le tronçon *bc*. . .	$\frac{11{,}5 \times 0{,}03}{d'} = \frac{0{,}345}{d'}$
Élargissement brusque en *c*. . . .	$\left(1 - \frac{d'^2}{d''^2}\right)^2$
Frottement dans le tronçon *cdefg*.	$\frac{19 \times 0{,}03}{d''} = \frac{0{,}57}{d''}$
Trois coudes à 90° en *d*, *e* et *f*.	3

D'autre part on doit avoir :

$$d' = d\sqrt{2},$$
$$d'' = 2d.$$

Tous calculs faits, on trouve :

$$Z = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000}\left(5{,}25 + \frac{0{,}63}{d}\right).$$

Sur le *Hoche*, on a :

$v = 14^{m}$ (chiffre déduit des essais),
$\gamma = 3^{kg},74$ correspondant à une pression de 6,25.

On trouve ainsi :

$$Z = \frac{3{,}74 \times 14^2}{2g \cdot 1000}\left(5{,}25 + \frac{0{,}63}{0{,}28}\right) = 0^{m},275$$

Digitized by Google

soit une dépression de 27 grammes entre la chaudière la plus éloignée et la machine. Cette dépression est absolument insignifiante.

Supposons qu'on ait accepté une dépression maxima de 500 grammes.

Nous aurions eu, comme précédemment, deux relations :

$$(1) \qquad 5 = \frac{3,74 \times v^2}{2g \cdot 1000}\left(5,25 \times \frac{0,63}{d}\right),$$

$$(2) \qquad vd^2 = 1,098,$$

d'où l'on tire :

$$v = 52^m,$$
$$d = 0,145.$$

Le tableau ci-dessous permet de comparer les dimensions adoptées pour le tuyautage du *Hoche* et celles qui résulteraient de nos formules en acceptant une dépression de 500 grammes.

Première solution.	*Deuxième solution.*
$d = 0,280,$	$d = 0,145,$
$d' = 0,408,$	$d' = 0,205,$
$d^2 = 0,560,$	$d'' = 0,290,$
$Z = 0^{kg},027, \quad v = 14^m,$	$Z = 0^{kg},500, \quad v = 52^m.$

XI. — Étude du tuyautage de vapeur du « Brennus ».

Les chaudières, du système Belleville, sont disposées par groupes de deux (Pl. IX, *fig.* 4) dont les arrivées de vapeur débouchent dans des boîtes en acier moulé placées sur les collecteurs (*). Le dessin montre que la tuyauterie aboutit à un détendeur. Ce détendeur ramène

(*) Les boîtes, destinées à recevoir les arrivées de vapeur, primitivement prévues en bronze, ont été exécutées en acier moulé.

à 12 kilogrammes la pression de vapeur à l'entrée de la machine, les chaudières devant fonctionner à 17 kilogrammes. Il semble qu'on pourrait profiter de la différence notable des régimes de pression des chaudières et des appareils moteurs pour réduire en conséquence les sections des tuyaux.

A cette manière de voir, les constructeurs des chaudières ont opposé certaines restrictions, sans d'ailleurs les préciser explicitement. Nous croyons, en ce qui nous concerne, que le rôle du détendeur est en grande partie de corriger les écarts dus à l'instabilité du régime de la pression dans les chaudières à faible volume d'eau, et l'on conçoit que cette fonction ne saurait être remplie par un tuyautage.

Suivons le tuyautage depuis la chaudière la plus éloignée *a* jusqu'au détendeur placé près de la machine en *k* :

Soit d le diamètre du tronçon		ab,
d'	—	$bcme$,
d''	—	ef,
d'''	—	$fghk$;

soit v la vitesse dans le tronçon ab.

Dans le tronçon	bc	la vitesse sera	$v_1 = v \times 2 \times \frac{d^2}{d'^2}$,
—	cme	—	$v_2 = v \times 4 \times \frac{d^2}{d'^2}$,
—	ef	—	$v_3 = v \times 8 \times \frac{d^2}{d''^2}$,
—	fg	—	$v_4 = v \times 12 \times \frac{d^2}{d'''^2}$,
—	gh	—	$v_5 = v \times 14 \times \frac{d^2}{d'''^2}$,
—	hk	—	$v_6 = v \times 16 \times \frac{d^2}{d'''^2}$.

Évaluons maintenant les diverses dépressions depuis la chaudière la plus éloignée *a* jusqu'au détendeur *k*, en

Digitized by Google

remplaçant v_1, v_2,... v_6, par les valeurs précédemment calculées en fonction de v.

Il vient, au facteur $\frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000}$ près :

Boite d'arrêt.	1
Tuyau ASb	$\frac{3,25 \times 0,03}{d} = \frac{0,097}{d}$
Coude S.	$(0,004 + 0,02 \times 0,28)\,\frac{0,879}{0,28^2} = 0,11$
Coude S'.	$(0,004 + 0,02 \times 0,28)\,\frac{0,44}{0,28^2} = 0,05$
Coude S''.	$(0,004 + 0,02 \times 0,16)\,\frac{0,25}{0,16^2} = 0,07$
Arrivée dans la boîte du collecteur.	1
Tuyau bc . . .	$\frac{3,20}{d'} \times 0,03 \times 4 \times \frac{d^4}{d'^4} = \frac{d^4}{d'^5} \times 0,384$
Tuyau cme. .	$\frac{10 \times 0,03}{d'} \times 16 \times \frac{d^4}{d'^4} = \frac{d^4}{d'^5} \times 4,8$
Coude en e à 90°.	1
Tuyau ef. . .	$\frac{9,9 \times 0,03}{d''} \times 64 \times \frac{d^4}{d''^4} = \frac{d^4}{d''^5} \times 19$
Tuyau fg . . .	$\frac{3,34 \times 0,03}{d'''} \times 144 \times \frac{d^4}{d'''^4} = \frac{d^4}{d'''^5} \times 14,4$
Tuyau gh. . .	$\frac{5,20 \times 0,03}{d'''} \times 196 \times \frac{d^4}{d'''^4} = \frac{d^4}{d'''^5} \times 30,6$
Tuyau bk. . .	$\frac{3,66 \times 0,03}{d'''} \times 256 \times \frac{d^4}{d'''^4} = \frac{d^4}{d'''^5} \times 28$

soit, au total :

$$Z = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000}\left[3,23 + \frac{0,097}{d} + d^4\left(\frac{5,19}{d'^5} + \frac{19}{d''^5} + \frac{73}{d'''^5}\right)\right].$$

Pour le *Brennus*, on a :

$$\gamma = 8^{kg},85,$$
$$v = 32^{m},$$

en supposant une puissance de 14.000 chevaux pour 32 chaudières et une consommation de $8^{lit},5$ d'eau par cheval.

D'autre part, on a :

$$d = 0{,}070,$$
$$d' = 0{,}220,$$
$$d'' = 0{,}260,$$
$$d''' = 0{,}340.$$

Tous calculs faits, on trouve :

$$Z = 2^{m},510,$$

soit une dépression de $0^{kg},251$ entre la chaudière la plus éloignée de la machine.

Supposons maintenant qu'on accepte une dépression de 1 kilogramme entre la chaudière la plus éloignée et la machine.

Posons :

$$d'^2 = 4d^2 \qquad\qquad d' = 2d,$$
$$d''^2 = 8d^2 \quad \text{ou} \quad d'' = 2d\sqrt{2},$$
$$d'''^2 = 16d^2 \qquad\qquad d''' = 4d,$$

en proportionnant les tuyaux au nombre de chaudières qui les alimentent. La relation donnant la dépression totale devient :

$$Z = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000}\left(3{,}23 + \frac{0{,}406}{d}\right).$$

D'autre part, pour le *Brennus* :

$$vd^2 = 0{,}157.$$

Posons $Z = 10$, c'est-à-dire acceptons une dépression de 1 kilogramme. Les équations servant à déterminer v et d seraient :

$$10 = \frac{8{,}85 \times v^2}{2g \cdot 1000}\left(3{,}23 + \frac{0{,}406}{d}\right),$$
$$vd^2 = 0{,}157.$$

En résolvant ces équations, on trouve :

$$v = 44^{m},$$
$$d = 0{,}060.$$

Digitized by Google

Le tableau ci-dessous permet de comparer les dimensions adoptées pour le tuyautage du *Brennus* et celles qui résulteraient de nos formules, en acceptant une dépression de 1 kilogramme.

Première solution.	*Deuxième solution.*
$d = 0{,}070,$	$d = 0{,}060,$
$d' = 0{,}220,$	$d' = 0{,}120,$
$d'' = 0{,}260,$	$d'' = 0{,}170,$
$d''' = 0{,}340,$	$d''' = 0{,}240,$
$Z = 0^{kg}{,}251, \quad v = 32^{m}.$	$Z = 1^{kg}, \quad v = 44^{m}.$

XII. — Résumé des calculs précédents.

	MITRAILLE		HOCHE		BRENNUS	
	Solution adoptée	Solution déduite de nos formules	Solution adoptée	Solution déduite de nos formules	Solution adoptée	Solution déduite de nos formules
Diamètre des tuyaux. . .	$0^{m},140$	$0^{m},085$	$0^{m},280$	$0^{m},145$	$0^{m},070$	$0^{m},060$
	0 ,200	0 ,120	0 ,400	0 ,205	0 ,220	0 ,120
	0 ,250	0 ,150	0 ,560	0 ,290	0 ,260	0 ,170
	0 ,160	0 ,110	»	»	0 ,340	0 ,240
Dépression totale. . . .	$0^{k},052$	$0^{k},500$	$0^{k},027$	$0^{k},500$	$0^{k},251$	$1^{k},000$
— normale . . .	0 ,014	0 ,195	0 ,008	0 ,230	0 ,105	0 ,676
— additionnelle	0 ,028	0 ,305	0 ,019	0 ,270	0 ,146	0 ,324
Vitesse de la vapeur. . .	20^{m}	55^{m}	19^{m}	52^{m}	32^{m}	44^{m}

XIII. — Influence d'une prise de vapeur, percée de trous, placée à l'intérieur de la chaudière.

Nous n'avons pas tenu compte, dans le calcul de la dépression totale du *Brennus*, de la perte de charge due au passage de la vapeur dans les petits orifices des pipes placées à l'intérieur des chaudières. Nous ne connaissions pas du reste, à ce moment, le détail de la disposition adoptée par M. Belleville.

Digitized by Google

Si

s est la section de la pipe,
s' — totale des trous,
v la vitesse dans la pipe,
v' la vitesse dans les orifices.

On aura :

$$v' = v \times \frac{s}{s'}.$$

La perte de charge dans les orifices est due :

1° Au passage dans les petits ajutages cylindriques $\frac{v'^2\gamma}{2g.1000} \times 0,5$;

2° Au changement de direction brusque des veines fluides arrivant dans la pipe $\frac{v'^2\gamma}{2g.1000} \times 1$;

au total : $\frac{v'^2\gamma}{2g\cdot 1000} \times 1,5 = \frac{v^2\gamma}{2g\cdot 1000} \times 1,5 \times \left(\frac{s}{s'}\right)^2.$

Sur le *Brennus* $v=32$, $\gamma=8,85$, d'où $z'=0,68\times\left(\frac{s}{s'}\right)^2.$

On trouve alors :

Pour $\frac{s}{s'} = 6$, $z' = 2^{kg},400$;

$\frac{s}{s'} = 3$, $z' = 0\ ,612$;

$\frac{s}{s'} = 2$, $z' = 0\ ,272$;

$\frac{s}{s'} = 1$, $z' = 0\ ,068$;

$\frac{s}{s'} = \frac{1}{2}$, $z' = 0\ ,017$.

Le produit vs étant constant, quel que soit s, z' est de la forme $z' = \frac{k}{s'^2}$, K étant une constante et l'on voit que l'importance de la dépression z' dépend essentiellement de la section totale adoptée pour les orifices.

Digitized by Google

D'autre part, la résistance propre de la pipe intérieure (en estimant sa longueur à 2 mètres et son diamètre étant de 0,070) est :

$$\frac{32^2 \times 8,85}{20.000} \times \frac{2}{0,07} \times 0,03 = 0^{m},388,$$

soit $0^{kg},039$.

L'installation sera d'autant plus efficace au point de vue de la suppression des entraînements d'eau que l'appel du fluide sera mieux réparti sur toute la longueur du coffre à vapeur. On sera donc conduit à multiplier le nombre des trous. Il importe, d'autre part, que la résistance propre de la pipe reste négligeable devant celle des orifices, de telle manière que la vapeur s'écoule uniformément par tous les trous. En admettant, par exemple, que la dépression dans la pipe doit être au plus le 1/10 de la dépression des orifices, on posera :

$$\frac{v^2 \gamma}{2g \cdot 1000} \times \frac{l}{d} \times 0,03 \leq \frac{1}{10} \frac{v^2 \gamma}{2g \cdot 1000} \times 1,5 \times \frac{s^2}{s'^2}.$$

et en tenant compte de la relation $s = \frac{\pi d^2}{4}$, on trouve :

$$\frac{s^5}{s'^4} \geq \frac{\pi l^2}{100}$$

Si s est donné, cette relation donne un maximum pour s', et on réalisera cette section s' en disposant un nombre convenable de trous sur toute la longueur de la pipe.

Si la valeur qui en résulte pour z' n'est pas exagérée au point de vue de la dépression totale admise entre la chaudière et les machines, on sera dans de bonnes conditions.

Dans le cas contraire, on se donnera pour z' une limite supérieure A et l'on posera :

$$z' = \frac{K}{s'^2} \leq A.$$

Digitized by Google

Pour le *Brennus* $K = 0,0026$.

Les valeurs de s et de s' devront alors satisfaire aux conditions :

$$\frac{0,0026}{s'^2} = A,$$

$$\frac{s^5}{s'^4} = \frac{\pi l^2}{100}.$$

La première relation fournit un minimum pour s'; on portera cette valeur dans la deuxième relation et on en déduira s.

Les considérations précédentes montrent que l'installation des prises de vapeur en crépine est assez délicate et qu'il est important de proportionner judicieusement la section totale des trous et la section de la pipe.

Une bonne installation devra remplir les conditions suivantes :

1° Nombre de trous suffisant pour répartir l'écoulement de vapeur sur toute la longueur du coffre;

2° Section totale des trous suffisante pour que la dépression due au passage du fluide par la crépine ne soit pas exagérée;

3° Section de la pipe suffisante pour que sa résistance propre soit négligeable devant celle des orifices.

XIV. — Conclusions.

Nous avons montré que la méthode suivie jusqu'à présent pour la détermination des sections des tuyaux ne permettait pas de les établir d'une manière rationnelle. Nos expériences nous ont conduit à un ensemble de formules permettant de calculer méthodiquement les sections d'une canalisation de vapeur dont le parcours est déterminé.

Nous appelons :

Dépression normale, la dépression due au frottement de la vapeur dans le tuyau;

Digitized by Google

Dépression additionnelle, l'ensemble des pertes de charge dues aux accidents de l'installation, coudes, étranglements, branchements, etc.

La somme de ces deux dépressions constitue la *dépression totale*, c'est-à-dire la chute de pression entre les extrémités du tuyautage considéré.

En appliquant nos formules à l'étude des tuyautages de la *Mitraille*, du *Hoche* et du *Brennus*, nous avons reconnu que les sections des tuyaux pourraient être largement réduites sans entrainer de dépressions exagérées.

Nous constatons de plus que la dépression additionnelle est comparable et parfois supérieure à la dépression normale; il convient, par suite, d'analyser en détail toutes les particularités du tuyautage (coudes, branchements, débouché dans un réservoir, etc.).

Nous avons étudié l'influence des prises de vapeur percées de trous, installées sur un grand nombre de chaudières et défini les conditions que doit remplir une installation de ce genre.

Nous avons enfin fait ressortir le rôle important des réservoirs de vapeur placés près de la machine, lorsque celle-ci ne comporte qu'un seul cylindre d'admission. Avec des réservoirs convenablement proportionnés, on pourrait vraisemblablement pousser beaucoup plus loin la réduction des sections du tuyautage.

Nous nous réservons d'étudier de plus près le rôle de ces réservoirs de vapeur, considérés comme régulateurs de débit.

Quoi qu'il en soit, les expériences que nous avons faites jusqu'ici, prouvent qu'on peut réduire franchement les diamètres des tuyaux de vapeur.

Nos formules, largement établies, permettront d'entrer dans cette voie, sans craindre aucun mécompte.

EXPÉRIENCES COMPLÉMENTAIRES SUR L'ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR EN RÉGIME INTERMITTENT.

Nous avons rendu compte, dans l'étude qui précède, des expériences entreprises à Indret sur l'écoulement de la vapeur dans les tuyaux.

Ces expériences se rapportaient spécialement à l'écoulement du fluide en régime uniforme et continu.

Nous en rappelons sommairement la conclusion.

La chute totale de pression aux extrémités d'une canalisation parcourue par un courant de vapeur animé d'une vitesse uniforme se compose de deux parties :

L'une (dépression normale) due au frottement de la vapeur dans les tuyaux, donnée par la formule :

$$z_1 = \frac{\gamma v^2}{2 g \cdot 1000} \times \frac{l}{d} \times B,$$

dans laquelle

z est la dépression en mètres d'eau;
l et d les dimensions du tuyau en mètres;
γ le poids du mètre cube de vapeur en kilogrammes;
v la vitesse du fluide en mètres;
B le coefficient de frottement de la vapeur, rapporté aux unités choisies.

L'autre (dépression additionnelle) due aux accidents de l'installation, coudes, étranglements divers, etc...

$$z_2 = \frac{\gamma v^2}{2 g \cdot 1000} \times A.$$

La valeur du coefficient de frottement B est 0,015 pour des tuyaux non encrassés. Pour les applications, nous avons pris une valeur double 0,03.

La valeur de A, qui varie d'une canalisation à l'autre, peut être obtenue dans chaque cas particulier avec une

approximation suffisante en se servant des formules ordinaires de l'hydraulique.

L'étude détaillée de quelques tuyautages de machines nous a conduit à cette conclusion que les sections adoptées pour les tuyaux auraient pu, sans inconvénient, être réduites dans de notables proportions et que nos formules, largement établies, permettent d'entrer dans cette voie, sans crainte de mécomptes.

Nous avons fait ressortir, d'une part, l'intérêt qu'il y aurait à poursuivre les expériences dans le but de vérifier plus exactement dans quelle mesure nos formules restaient applicables au cas ordinaire d'un écoulement intermittent, et de préciser en même temps le rôle des réservoirs placés par des machines, en considérant ces réservoirs comme des régulateurs de débit.

Nous avons donc repris les expériences dans cet ordre d'idées, avec des manomètres de précision spécialement construits par la maison Bourdon et une installation permettant d'étudier les effets produits par l'intermitence du débit.

Nous rendons compte, dans la présente note, des résultats déjà constatés.

Installation servant aux expériences. — Elle comporte :

1° Une chaudière produisant la vapeur à la pression de $7^{kg},500$;

2° Un tuyau de 50 mètres de long et $0^{m},50$ de diamètre partant de la soupape d'arrêt et aboutissant dans un réservoir cylindrique de 830 millimètres de hauteur et 200 millimètres de diamètre;

3° Un tuyau d'échappement avec robinet de réglage partant du réservoir et aboutissant dans la boite à tiroir d'un petit moteur de ventilateur démuni de sa bielle motrice et de son piston.

Digitized by Google

Le tiroir lui-même était conduit par l'arbre d'une turbine de brassage, munie de son moteur, et ce dernier était alimenté par une chaudière quelconque, indépendante du tuyau en expérience.

Nous réalisions bien ainsi l'intermittence du débit à l'aide d'un organe interrupteur à mouvement périodique, dans des conditions semblables à celles de l'écoulement de la vapeur dans les machines et on pouvait, dans certaines limites, faire varier le nombre des interruptions en réglant l'allure de la turbine. En stoppant celle-ci, et en plaçant le tiroir à un de ses bouts de course, le débit devenait continu.

L'échappement de vapeur se faisait à air libre, en passant par le cylindre du moteur de ventilateur.

L'organe interrupteur était un tiroir cylindrique dont la section de passage à travers les orifices était égale à $0^{m^2},00096$, soit la moitié environ de la section du tuyau.

Les expériences duraient une heure, et le débit était mesuré avec soin en jaugeant l'eau d'alimentation dans des caisses graduées ; le niveau de l'eau de la chaudière étant maintenu constant pendant la durée de l'expérience.

Les manomètres étaient gradués de 6 à 9 kilogrammes, chaque division correspondant à 50 grammes seulement. Toutes les précautions avaient été prises pour que les indications des manomètres ne soient pas faussées par le poids de l'eau condensée dans les tuyaux aboutissant à ces appareils.

Résultats des expériences. — Nous réunissons dans le tableau ci-dessous les chiffres qui résultent des expériences faites avec l'installation que nous venons de décrire.

Nous indiquons dans les diverses colonnes :

La pression à la chaudière P ;

Digitized by Google

Le nombre de tours n;

La dépression z mesurée entre la chaudière et le réservoir, aux extrémités du tuyau de 50 mètres;

Le débit Q relevé au bout d'une heure;

La vitesse correspondante de la vapeur v;

Le coefficient de frottement B déduit de la formule

$$z = \frac{\gamma v^2}{2g \cdot 1000} \times \frac{l}{d} \times B.$$

PRESSION à la chaudière P	NOMBRE de tours n	DÉPRESSION z	DÉBIT par heure Q	VITESSE de la vapeur	VALEUR de B	OBSERVATIONS
kg. 7,500	débit continu	gr. 525	litr. 1.190	mèt. 39,0	0,016	Le robinet de réglage, placé à la sortie du réservoir, était étranglé. La chaudière fournissait tout son débit avec tirage par jet de vapeur dans la cheminée.
7,500	débit continu	300	940	30,6	0,015	Robinet de réglage étranglé. La chaudière fournissait tout son débit au tirage naturel.
7,500	210	375	950	31,0	0,018	Robinet de réglage ouvert en grand. Le débit était limité par le tiroir interrupteur.
7,500	360	350	920	30,0	0,018	
7,500	455	325	910	29,7	0,017	
7,500	553	325	900	29,4	0,017	
7,500	800	250	840	27,4	0,015	

Malgré le nombre restreint des expériences que nous avons pu faire jusqu'à présent sur l'écoulement de la vapeur en régime intermittent, les résultats déjà obtenus mettent en évidence quelques faits intéressants.

En premier lieu nous retrouvons bien, en régime continu, le coefficient de frottement 0,015, tel qu'il résultait des nombreuses expériences dont il a été rendu compte précédemment. C'est une nouvelle vérification des formules générales que nous avions proposées. Les écarts qui se manifestent d'une expérience à l'autre, ou d'une série

d'expériences à une autre série, sont insignifiants et restent absolument dans la limite des erreurs d'observation ou des différences qui peuvent provenir de l'état de propreté plus ou moins grand des tuyaux.

En ce qui concerne l'écoulement en régime discontinu, il importe de remarquer que les expériences ont toutes été faites avec le robinet de réglage ouvert en grand, le débit étant uniquement réglé par l'organe interrupteur.

On a mesuré, comme d'habitude, le débit et la chute de pression dans le tuyautage et calculé ensuite le coefficient B en appliquant, *a priori*, la formule d'écoulement en régime continu.

La mesure de la dépression présente ici des difficultés expérimentales qui sont dues aux vibrations plus ou moins rapides de l'aiguille du manomètre placé sur le tuyau, du côté de l'organe interrupteur.

Ces oscillations ont la même période que celle du tiroir interrupteur, mais leur amplitude diminue à mesure que le nombre des interruptions augmente. Quand le nombre de tours atteint 800, l'aiguille peut être considérée comme stable.

Aux allures réduites, il est nécessaire d'éteindre les oscillations de l'aiguille en étranglant le robinet du manomètre.

On obtient ainsi une sorte de dépression moyenne difficile à définir exactement, mais qu'il est assez rationnel de comparer à la dépression constante qui serait produite par un écoulement uniforme donnant le même débit.

Il paraît certain, *a priori*, comme l'a fait observer M. l'ingénieur Garnier, que la vitesse entrant par son carré dans la formule de la dépression, cette dernière sera, comme moyenne, plus forte en régime variable qu'en régime continu, et les expériences que nous poursuivons actuellement n'ont pas d'autre but que déterminer dans quelle limite il conviendrait de majorer le coefficient

Digitized by Google

de frottement pour que nos formules deviennent pratiquement applicables au débit variable, c'est-à-dire au cas le plus ordinaire des tuyautages de machines.

Les expériences déjà faites semblent indiquer que le débit Q et la dépression Z diminuent graduellement à mesure que le nombre des intermittences devient plus grand.

Ainsi, n allant de 210 (chiffre au-dessous duquel l'installation n'a pas permis de descendre) à 800, Z a varié de 375 à 250 grammes, et Q de 950 à 840 litres.

Quant à B, coefficient déduit de la formule

$$z = \frac{\gamma v^2}{2g \times 1000} \times \frac{l}{d} \times B,$$

il a varié dans des limites très restreintes entre un minimum 0,015 égal à la valeur de B précédemment obtenue en régime continu et un maximum 0,018 correspondant aux allures les moins rapides de l'organe interrupteur.

Cette légère variation dans la valeur de B, rentre dans la limite des erreurs d'observation.

A l'allure précipitée de 800 tours, l'aiguille du manomètre reste stable, et il n'est pas étonnant que nous retrouvions dans ce cas la valeur 0,015 qui correspond à l'écoulement continu, le seul effet de l'organe interrupteur étant alors de limiter le débit de vapeur.

Nos expériences ne sont pas assez complètes pour qu'il soit possible de préciser actuellement dans quelle mesure le fonctionnement du tiroir interrupteur influe sur le débit.

Bornons-nous à constater que les petites différences dans la valeur de B, quelle qu'en soit, d'ailleurs, la cause exacte, peuvent être englobées dans la marge qu'il est néessaire de se donner dans toute formule pratique.

Nous rappelons que, dans les études de tuyautages faites antérieurement, comme application de nos for-

mules, nous avions doublé la valeur du coefficient de frottement de la vapeur, pour tenir compte de certaines pertes de charge difficiles à évaluer et de l'état de propreté plus ou moins grand des tuyaux.

Il semble résulter, des premières expériences relatées dans cette note, que cette majoration est amplement suffisante pour tenir compte en même temps des perturbations apportées par la discontinuité du débit.

Résumé. — En résumé :

1° Pour une pression, pour un tuyautage et pour un organe interrupteur déterminés, il parait exister une relation caractéristique entre le nombre des intermittences et le débit maximum de vapeur;

2° Le coefficient de frottement B, en régime variable, calculé par la formule $z = \frac{\gamma v^2}{2g.1.000} \times \frac{l}{d} \times B$, où z représente la dépression moyenne entre les extrémités du tuyau, est sensiblement le même, au moins dans la limite de ces premières expériences, que le coefficient que nous avons trouvé pour l'écoulement en régime continu.

BULLETIN

LES ÉCOLES DES MINES DE LA COLONIE DE VICTORIA (AUSTRALIE).

Par M. BABU, Ingénieur des mines.

I. — Écoles dites « technical schools. »

Organisation générale des Écoles des Mines. — Les Écoles des Mines sont nombreuses dans la colonie de Victoria. Réparties dans toute la région des mines d'or, elles permettent aux jeunes gens de chaque centre minier d'acquérir les connaissances techniques suffisantes pour remplir les emplois de contremaîtres dans les diverses branches qui se rattachent à l'industrie des mines. Quelques-unes forment des ingénieurs, des directeurs de mines, ou bien des fonctionnaires du Corps des Mines ou du Service Géométrique. Pour une population de onze cent mille habitants, on ne compte pas moins de 13 écoles dites « Écoles des Mines » et 12 écoles d'Arts et Métiers ou écoles professionnelles. Ces chiffres paraissent très élevés comparés aux nombres des ouvriers mineurs qui est seulement d'environ 24.000. Il vaudrait assurément mieux diminuer le nombre des écoles dites « Écoles des Mines » ou plutôt qui s'attribuent le nom d'Écoles des Mines tout en étant des écoles techniques de second ordre, et créer une École des Mines véritablement digne de ce nom.

Toutes ces écoles rentrent dans la catégorie des « *technical schools* ». Elles sont rattachées au ministère de l'instruction publique, mais leur administration est confiée à un *Conseil local*, spécial pour chaque école et responsable vis-à-vis du ministre, qui peut d'ailleurs nommer un ou plusieurs représentants dans chaque conseil. Chaque école a droit à une subvention du ministère; le total des subventions est fixé chaque année et la répartition en est déterminée par un règlement nouvellement élaboré et dont il sera parlé plus loin. Des examinateurs nommés par le

Digitized by Google

ministre délivrent des *Certificats de capacité* aux élèves qui satisfont aux divers examens. Les écoles des mines sont ainsi des écoles libres, simplement soumises au contrôle du département de l'instruction publique; elles s'administrent elles-mêmes, choisissent les professeurs, et il suffit qu'elles se conforment au règlement général sur les écoles techniques pour avoir droit à une subvention du ministre.

Budget des recettes dans les Écoles des Mines. — Le budget des recettes de chaque école est alimenté :

1° Par les droits d'inscription des élèves et par les droits d'examen;

2° Par les paiements des analyses et essais faits à l'École pour le compte des particuliers ou des compagnies minières;

3° Par les dons;

4° Par la subvention du département de l'instruction publique.

1° *Droits d'inscription et droits d'examen.* — Les frais d'études à payer par les élèves sont assez élevés et varient d'une école à l'autre; le minimum en est fixé par le règlement sur les écoles techniques, et pour avoir droit à la subvention du ministère, le Conseil de l'école doit prouver que ces frais ont été effectivement perçus.

Les droits d'admission aux cours sont calculés par terme, et l'année est divisée en 4 termes comprenant chacun 10 semaines. Aux écoles de Bendigo et de Ballarat, pour chaque cours, les droits d'admission par terme sont en général de 26f,25; pour certains cours ils sont réduits de moitié. Des droits sont en outre demandés pour l'admission aux travaux des laboratoires. Enfin les frais d'examen pour chaque cours s'élèvent environ à 26f,25.

Les élèves qui ont obtenu le plus de points aux examens de 1re ou de 2e année peuvent être dispensés de payer les frais d'études l'année suivante. Ces frais sont alors payés par le département de l'instruction publique.

A l'école de Ballarat, les élèves qui désirent suivre les cours des trois années d'études peuvent payer une somme fixe de 2.625 fr.

2° *Paiements des analyses et essais effectués pour le compte des particuliers.* — Aux écoles les plus importantes sont annexés des laboratoires d'essais industriels. C'est ainsi qu'à Ballarat on trouve divers appareils de traitement des minerais aurifères tels que bocards, fours de grillage et bacs de chloruration. Les particuliers peuvent donc faire essayer les divers procédés de trai-

Digitized by Google

tement sur les minerais qu'ils désirent étudier. On trouve ci-après le tarif de ces essais pour l'école de Ballarat.

a. *Essai par amalgamation.* — Quartz ou minerais analogues :

1 tonne ou fraction de tonne	en 1 échantillon	75f,00
	en 2 échantillons	100 ,00
De 1 à 4 tonnes, par tonne		62 ,50
5 tonnes et au-dessus, par tonne		50 ,00

b. *Essai par grillage et amalgamation.* — Pyrites, tailings, etc. :

1 tonne ou fraction de tonne	75f,00
Par tonne en plus	75 ,00

c. *Essai par grillage et chloruration.* — Pyrites, concentrés, etc. :

1 tonne ou fraction de tonne	100f,00
5 tonnes et au-dessus, par tonne	75 ,00

Les analyses faites au laboratoire de chimie sont payées sur les bases suivantes :

Métaux précieux, dosage de l'or ou de l'argent	6f,25
Dosage de l'or et de l'argent dans les quartz, blankelings, pyrites, tailings, etc., par métal	13 ,00
Dosage de l'or dans les quartz avec départ	18 ,75
Dosage d'un métal ordinaire dans une substance minérale	13 ,00
Essai de plomb, cuivre, étain, argent, fer ou manganèse	13 ,00

3° *Dons.* — Les sociétés de mines, les grands industriels ont coutume, chaque année, de faire un don en argent à l'école de leur région. Ce don est généralement d'une guinée (26f,25).

4° *Subvention du département de l'instruction publique.* — Autrefois chaque école avait une subvention déterminée d'avance et le total dépassait 600.000 fr. Ce total est maintenant réduit de moitié et la répartition en est faite par un arrêté ministériel datant de 1893.

Pour chaque école, la subvention est basée :

— Sur le nombre des élèves régulièrement admis dans chaque branche de l'enseignement et ayant payé les frais d'études;

— Sur les résultats obtenus dans les examens de fin d'année.

Elle s'applique à des branches d'enseignement très variées, mais spécifiées dans l'arrêté; et il est curieux de constater que l'enseignement de la cuisine et celui de la coupe des vêtements ont droit à des subventions au même titre que l'enseignement de la métallurgie ou celui de la chimie.

Au point de vue de la subvention, les diverses branches d'enseignement sont réparties en *Sciences, Métiers et Arts.*

Digitized by Google

Par chaque élève qui assiste régulièrement à 14 leçons par terme dans une branche déterminée de l'enseignement, l'école a droit à la subvention ci-après :

	1re année.	2e année.	3e année.
Une science	18f,75	31f,25	43f,75
Un métier	12 ,50	21 ,90	31 ,25
Un art	18 ,75	28 ,12	37 ,50

Si l'élève n'assiste qu'à 7 leçons par terme, la subvention est réduite de moitié.

La présence d'un élève aux laboratoires pendant 14 séances par terme, donne également lieu à une subvention de 12 fr. 50 par terme.

La subvention relative aux examens est déterminée comme il suit, par élève qui subit avec succès un examen :

	1re année.	2e année.	3e année.
Une science	50f,00	75f,00	125f,00
Un métier	25 ,00	37 ,50	50 ,00
Un art	37 ,50	50 ,00	75 ,00

Pour une science, la somme est doublée si l'élève passe l'examen avec les « *honneurs* » ; elle est augmentée de 1/3 à 1/2 si pour un art l'élève mérite la note « *excellent* ».

L'arrêté de 1893 énumère comme il suit les branches d'enseignement qui ont droit à la subvention :

Sciences. — Chimie ; métallurgie ; analyse minérale ; géologie ; minéralogie ; mathématiques (géométrie, algèbre, trigonométrie) ; mécanique appliquée ; topographie superficielle ; topographie souterraine ; exploitation des mines ; moteurs à gaz et à vapeur ; dynamique et chaleur ; acoustique et optique ; électricité et magnétisme ; électricité appliquée ; botanique ; agriculture ; médecine vétérinaire.

Métiers. — Travail des métaux, tour et ajustage ; forge ; fonderie ; pose des conduites d'eau et de gaz, plomberie ; charpente ; menuiserie ; fabrication des modèles ; carrosserie ; classement des laines ; cuisine ; coupe des vêtements ; lithographie.

Arts. — Dessin géométrique ; perspective ; architecture ; ornementation ; dessin.

Outre ces subventions annuelles, les écoles peuvent demander et obtenir des subventions extraordinaires destinées soit à des constructions nouvelles, soit à l'achat de certains appareils ou de pièces pour les musées annexés aux écoles.

Digitized by Google

II. — Écoles des mines de Bendigo et de Ballarat.

Comme on le voit d'après la classification donnée plus haut pour les diverses branches de l'enseignement, la plupart des écoles techniques (*technical schools*) sont des écoles professionnelles ou des écoles d'Arts et Métiers. Il en est de même de presque toutes les écoles qui s'intitulent « Écoles des Mines ». Deux seulement (Bendigo et Castlemaine) sont comparables à nos écoles d'Alais et de Douai ; l'enseignement est plus élevé à l'école des mines de Ballarat, qui peut être rapprochée de l'école des mines de Saint-Etienne.

École des mines de Bendigo. — L'école des mines de Bendigo a été récemment construite ; les bâtiments sont vastes et suffisamment bien aménagés. Le laboratoire de chimie peut contenir seulement 25 élèves.

On trouve annexés à l'école une bibliothèque et un musée ; ce dernier reçoit de nombreux visiteurs ; en 1893, le chiffre des entrées a été supérieur à 2.300 par mois.

L'enseignement comprend :

Géologie ; minéralogie ; chimie ; métallurgie ; topographie ; mathématiques (arithmétique, géométrie, algèbre, logarithmes, trigonométrie) ; conduite des machines ; mécanique théorique et appliquée ; machines appliquées à l'exploitation des mines ; botanique ; philosophie naturelle.

Dessin de machines et d'architecture ; architecture et construction de machines ; dessin ; ornement et décoration.

Travail des métaux ; charpente.

Télégraphie ; élocution ; langues vivantes.

Contrairement à ce qui a lieu dans les écoles françaises, les élèves ne sont pas astreints à suivre une série de cours ; chaque élève n'assiste qu'aux cours qui lui conviennent et pour lesquels il a préalablement payé les frais d'études. Les cours les plus en faveur à Bendigo sont les cours d'enseignement pratique ; c'est ainsi qu'en 1893 les cours de dessin ont compté plus de 150 élèves, la géométrie pratique 25, la construction et le levé de plans 20, tandis que le nombre des assistants s'est élevé seulement à 6 pour le cours de géologie et à 2 pour celui de minéralogie.

Des certificats de capacité sont délivrés aux élèves qui subissent avec succès les examens sur un cours déterminé. Le titre de *mining manager* (directeur de mines) s'acquiert par un

ensemble d'examens portant sur l'exploitation des mines, les mesures de superficie et de volume; l'hydraulique; les machines; la topographie; la comptabilité; les machines en général.

Si le candidat au titre de « mining manager » subit en outre avec succès les examens relatifs à l'essai des substances minérales, à la géologie élémentaire et à la minéralogie élémentaire, le certificat porte la mention *passed with honours*.

École des mines de Ballarat. — L'école des mines de Ballarat, créée en 1871, est installée dans des bâtiments assez exigus et dont l'aménagement paraît défectueux. Un musée et une bibliothèque lui sont annexés.

Le *musée*, qui a reçu plus de 20.000 visiteurs en 1893, comprend, outre des collections géologiques et minéralogiques, des collections zoologiques et ethnologiques. Les échantillons minéralogiques sont au nombre de 2.110; les roches et fossiles au nombre de 2.220; presque tous les spécimens proviennent des colonies australiennes et de la Nouvelle-Zélande; la Tasmanie paraît surtout avoir fourni un fort appoint aux collections de minéralogie.

La *bibliothèque* possède 1.357 volumes.

Le *laboratoire de chimie* comprend deux grandes pièces, pouvant contenir environ 100 élèves; l'aménagement en est très médiocre. L'École ne fournit que les réactifs ordinaires; les réactifs spéciaux, de même que les boîtes de poids, les creusets de platine et les mortiers d'agate, sont à la charge des élèves.

Le *laboratoire de métallurgie* est muni de 12 fours de fusion, 3 fours de coupellation et 1 four à vent. Les creusets, scorificatoires, etc., sont fournis aux élèves suivant un tarif déterminé.

Le *laboratoire annexé au cours d'exploitation* contient un grand nombre des appareils en usage pour le traitement des minerais aurifères; il n'a pas coûté moins de 100.000 francs. On y voit une pompe Tangye à vapeur de 10 chevaux actionnée par une chaudière tubulaire. Une machine à gaz Clark de 12 chevaux fournit la force motrice à l'atelier d'amalgamation qui comprend : un concasseur avec deux trommels; une batterie de bocard de deux flèches qui travaillent dans des mortiers séparés, suivie de tables de cuivre amalgamé, blankets et tables à secousses Halleys; un moulin Berdan; un moulin Chilien; un tonneau d'amalgamation; deux fours à soles étagées et munis de râbles mécaniques tournants servent au grillage des pyrites; ils sont suivis de chambre de condensation pour la récolte de

Digitized

l'arsenic. Les pyrites grillées sont traitées soit dans des pans Wheeler avec concentrateur, soit par chloruration dans des bacs aménagés d'après le système Newbury Vautin.

En 1893, ce laboratoire a traité 178 échantillons, pesant en totalité environ 260 tonnes.

Le nombre des élèves régulièrement inscrits à l'École est considérable, il a été de 433 en 1893. Il est vrai que, comme à Bendigo, les élèves ne sont pas astreints à suivre tous les cours; ils choisissent ceux qui leur conviennent, suivant l'industrie à laquelle ils se destinent. Chaque cours donne d'ailleurs lieu à un certificat de capacité spécial. Enfin pour certaines séries d'examens l'École délivre également des certificats de capacité comme *directeur de mines* (*mine manager's certificates*).

La durée des cours est de trois ans; l'enseignement comprend : mathématiques; philosophie naturelle; topographie; dessin de machines; minéralogie; pétrographie; géologie générale et géologie technique; exploitation des mines; chimie; machines; moteurs à vapeur; machines spéciales aux mines; métallurgie; docimasie; botanique; agriculture; paléontologie; zoologie; météorologie; chimie agricole; électricité; construction; hydraulique.

Le cours de *minéralogie* comprend 34 leçons, savoir :

Cristallographie	15 leçons.
Propriétés physiques et classification des minéraux	4 —
Description des minéraux	15 —

Plus de 30 séances sont en outre consacrées à examiner et à reconnaître des substances minérales.

Le cours de *géologie* comprends 141 leçons, savoir :

Pétrographie	36 leçons.
Géologie physique	8 —
Stratigraphie	28 —
Géologie technique	22 —
Topographie géologique	16 —

il faut y ajouter 31 séances sur le terrain, consacrées à déterminer la topographie de couches géologiques.

Le cours *d'exploitation des mines* comprend 75 leçons, le cours de *chimie* et *docimasie* 69, le cours de *métallurgie* 88. Il est fait de plus un grand nombre de conférences sur la chimie générale, l'analyse qualitative, l'analyse volumétrique et sur la métallurgie.

Le cours de *philosophie naturelle* comprend 18 leçons sur la

dynamique, 18 sur la lumière, 19 sur la chaleur, 17 sur la statique et l'hydrostatique.

L'enseignement de la *topographie* est développé d'une manière remarquable, il n'occupe pas moins de 140 heures pour la topographie superficielle et 120 heures pour la topographie souterraine.

Enfin 190 heures sont consacrées aux cours de *mécanique et de machines*.

Les cours de l'école sont d'ailleurs faits suivant un programme déterminé dont on trouve ci-après le résumé.

III. — Programme des cours de l'École des mines de Ballarat.

Mathématiques. — L'enseignement correspond à peu près à celui de la classe de mathématiques élémentaires et comprend : arithmétique, algèbre, trigonométrie. On y ajoute des notions élémentaires de géométrie analytique, de calcul différentiel et de calcul intégral.

Philosophie naturelle. — Le cours comprenait autrefois : mécanique et chaleur, acoustique et optique, magnétisme et électricité. On a développé beaucoup les leçons de magnétisme et d'électricité qui constituent maintenant un cours spécial. Le cours de philosophie naturelle comprend alors : dynamique, lumière, chaleur, statique et hydrostatique.

Topographie superficielle. — Description et usage des principaux instruments. Levés de plans et nivellement. Carnets d'observations. Confection des plans et des cartes. Tracé des routes. Observations solaires et sidérales.

Le certificat de capacité, délivré à la fin du cours, donne aux élèves qui l'obtiennent le droit de se présenter aux examens pour l'emploi de géomètre du gouvernement sans faire l'année de stage obligatoire pour les autres candidats.

Topographie souterraine. — Levés à la boussole et au théodolithe. Confection des plans des mines et leur rattachement aux plans superficiels.

Minéralogie. — Cristallographie. — Minéralogie systématique : propriétés physiques, chimiques et optiques des minéraux; classification. Minéralogie descriptive : description des minéraux les plus importants.

Dans de nombreuses séances de laboratoire, les élèves sont en outre exercés à la détermination des minéraux.

Pétrographie. — Classification des roches. Composition et structure micrographique des roches compactes.

Géologie. — Morphologie proprement dite et physiographie. Dynamique interne; phénomènes volcaniques. Dynamique externe. Structure de l'écorce terrestre. Stratigraphie, à peu près bornée à l'étude des étages sédimentaires de l'Australie, de la Tasmanie et de la Nouvelle-Zélande. Géologie chimique : altérations et métamorphisme des minéraux et des roches ; eaux superficielles ; eaux profondes, leurs dépôts; genèse des gîtes minéraux.

Géologie technique. — Étude des gîtes métallifères au point de vue de leur

Digitized by

mode d'occurrence, de la méthode d'exploitation et de traitement des minerais : statistiques de la production des métaux.

On s'occupe spécialement des gîtes de l'Australie et de la Tasmanie.

Topographie géologique. — Cartes géologiques.

Géologie appliquée à l'agriculture. — Sols et sous-sols.

Exploitation des mines. — Généralités sur les filons et les couches. Méthodes d'exploitation. Boisages et revêtements. Roulage et extraction. Aérage. Épuisement. Accidents. Jurisprudence. Préparation mécanique des minerais.

Chimie générale. — Lois générales. Théorie des atomes. Métalloïdes et métaux.

Mécanique théorique et appliquée. — Composition des forces ; moments ; centre de gravité. Lois du mouvement. Chocs. Équilibre des corps flottants. Propriétés mécaniques des gaz. Éléments de résistance des matériaux. Moteurs à eau et à vapeur.

Appareils à vapeur. — Chaudières et accessoires. Moteurs à vapeur.

Machines appliquées à l'exploitation des mines. — Machines à vapeur et roues hydrauliques. Pompes. Machines d'extraction. Calcul des divers organes des machines.

Analyse minérale. — Analyse qualitative ; analyse quantitative par les méthodes en poids et en volumes.

Métallurgie. — Éléments de métallurgie générale. Éléments de métallurgie des métaux autres que l'or. Électrométallurgie. Préparation mécanique des minerais. Métallurgie de l'or.

Essai des substances minérales. — Ce cours est le complément du cours d'analyse minérale relativement à la détermination de la valeur des substances minérales. Essais spéciaux des charbons, des minerais métalliques et des produits métallurgiques. Il est complété par des travaux de laboratoire.

Cours pratique de traitement des minerais aurifères. — Les élèves passent au moins trois mois au laboratoire annexé au cours d'exploitation et accomplissent certains travaux tels que : bocardage et travail des pilons ; broyage au moulin ; amalgamation ; grillage ; chloruration ; lessivage, etc...

Botanique. — Physiologie générale : racines, tronc, feuilles, fleurs. Classification et description des plantes, spécialement des plantes australiennes. Botanique appliquée à l'agriculture. Morphologie générale et élémentaire des plantes. Éléments de phytogéographie et de paléophytologie.

Paléontologie. — Discussion générale sur la morphologie, la physiologie, la distribution géologique et géographique, la contemporanéité et l'homotaxie, la doctrine de l'évolution.

Zoologie. — Morphologie et physiologie. Zoologie appliquée à l'élevage du cheval, du bœuf, du mouton, du porc.

Météorologie. — Instruments d'observation ; instruments enregistreurs. Cartes météorologiques.

Agriculture. — Travaux agricoles ; machines. Assolements. Champs et pâturages ; élevage des vaches laitières et des animaux de boucherie.

Arpentage et nivellement. — Tracé des conduites d'eau et des canaux d'irrigation.

Chimie agricole. — Composition des plantes, des sols. Analyse des engrais et des récoltes. Laiterie.

Constructions agricoles. — Citernes, réservoirs, jaugeage des cours d'eau. Chemins. Établissement des ouvrages d'irrigation.

Électricité. — Électricité statique. Magnétisme. Piles et courants. Instruments de mesure. Énergie électrique. Électro-magnétisme. Électro-chimie. Production industrielle de l'électricité. Unités fondamentales. Distribution de l'électricité. Transformateurs. Éclairage et transmission de la force. Établissement des stations centrales.

Constructions. — Terrassements. Maçonneries. Constructions en bois et en fer. Établissement et entretien des rues, des routes. Construction des chemins de fer; voie et constructions qui s'y rattachent.

Hydraulique. — Circulation de l'eau dans les canaux et dans les tuyaux. Réservoirs. Alimentations d'eau. Roues hydrauliques et turbines.

LA MINE ROBINSON (TRANSWAAL).

COMPTE RENDU STATISTIQUE DES OPÉRATIONS DE L'ANNÉE 1893

Le conglomérat aurifère, exploité par les mines désormais célèbres du Transwaal, est un gisement présentant des caractères tout particuliers et différents de ceux des filons quartzeux, source ordinaire de l'or. A ce titre, il a paru intéressant de faire connaître, en les traduisant en mesures métriques, les résultats économiques de son exploitation. On a choisi pour exemple les opérations de la mine Robinson, une des mieux connues de la région, telles qu'elles résultent du rapport officiel de son directeur général pour l'année 1893.

1° *Production.*

Il a été extrait des filons :

	MAIN REEF LEADER	SOUTH REEF	MAIN REEF	TOTAL
	tonn. kg.	tonn. kg.	tonn. kg.	tonn. kg.
Du 3e niveau (*). .	33.548,610	6.512,681	»	40.061,291
Du 4e niveau . . .	17.587,602	18.267,078	»	35.854,680
Du 5e niveau . . .	»	852,754	9.262,358	10.115,112
	51.136,212	25.632,513	9.262,358	86.031,083

(*) La profondeur de ces niveaux n'est pas indiquée dans le rapport. Elle est probablement de 90, 120 et 150 mètres, suivant la pente des filons, dont l'inclinaison est faible.

Digitized by Google

Ces 86.031 tonnes bocardées ont rendu :

	POIDS D'OR	VALEUR totale	VALEUR du gramme	RENDEMENT pour 1.000 kg. bocardés en poids	RENDEMENT pour 1.000 kg. bocardés en francs	P. 100
	kg. gr.	fr	fr.	gr.		
A l'amalgamation.	3.241,645,859	9.511.374,58	2,934	37,679	110,56	78,77
A la chloruration.	331,555,094	1 107.285,89	3,339	3,854	12,87	9,14
A la cyanuration. .	557,406,483	1.461.436,03	2,620	6,479	16,98	12,09
Totaux et moyennes.	4.130,607,436	12.080.096,50	2,9245	48,012	140,41	100,00

Le moulin (de 60 pilons) a produit 2.462^{T},100^{kg} de concentrés qui ont passé à la chloruration et 49.913^{T},329^{kg} de tailings, ou queues, qui ont passé à la cyanuration.

La production des concentrés est faible : 2,86 p. 100 tonnes bocardées. Le rendement de la tonne de concentrés s'est élevé à 134^{gr},663 d'une valeur de 449^{f},73.

Les tailings ont rendu 11^{gr},16 p. 1.000 kilogrammes, d'une valeur de 29^{f},27. La proportion de tailings produits et traités est de 58 p. 100 de roches bocardées.

II. *Dépenses.*

Le rapport présente les dépenses sous la forme suivante :

Travaux de développement.	1.069.731^{f},15
Travaux miniers.	1.633.340 ,21
Entretien de la mine	77.890 ,72
Broyage . . . . Entretien du moulin	465.115 ,01
Entretien général.	54.728 ,22
Divers	340.815 ,52
Enlèvement des boues du moulin	24.025 ,59
Cyanuration.	502.835 ,36
Total.	4.168.481^{f},78

Les frais de chloruration ne sont pas compris dans ce total et le rapport n'en indique pas le montant. On trouve seulement au bilan que la dépense totale aux usines de chloruration et de cyanuration s'est élevée à la somme de. . . . . . 1.099.813^{f},81.
Le rapport donnant aux frais de cyanuration seuls la valeur de . . . . 502.835^{f},36,
il en résulte pour les frais de chloruration une somme de . . . . 596.978^{f},45.

Digitized by Google

Mais cette dépense ne s'applique pas seulement aux concentrés produits par la mine. La compagnie en achète aux exploitations voisines. Le tonnage acheté n'est pas indiqué. On lit seulement dans le bilan que la compagnie a payé une somme de 2.041.609f,37 pour les concentrés achetés et qu'il en reste en magasin 464 T,777kg valant 147.088f,31, soit 316f,47 p. 1.000 kilogrammes. A ce taux, les dépenses d'achat des concentrés étrangers correspondraient à un tonnage de 6.451 T,190kg. L'usine de chloruration aurait donc traité :

	6.451ton,190kg	de concentrés achetés.
	2.462 ,100	— de la mine.
Soit	8.913ton,290kg	au total.

dont le traitement a coûté 596.978f,45, soit 66f,97 p. 1.000 kilogrammes. D'où une dépense de 164.886f,83 pour les 2.462 T,100kg de concentrés de la mine.

Les frais divers (340.815f,42) représentent les frais généraux de toute espèce. Au point de vue de l'exploitation, il convient d'en distraire la somme de 137.358f,14 représentant les frais du siège social, transports, etc., qui n'intéressent pas la mine. Les frais généraux de l'exploitation se réduisent donc à 203.457f,28.

En tenant compte de ces observations, on trouve que le total des dépenses d'exploitation s'est élevé à 4.196.010f,37 ainsi répartis :

Mine.	Travaux de développement	1.069.731f,15	
	Travaux miniers	1.633.340 ,21	
	Entretien de la mine	77.890 ,72	
			2.780.962f,08
Moulin.	Broyage et entretien	465.115 ,01	
	Enlèvement et emmagasinage des boues	24.025 ,59	
			489.140 ,60
Cyanuration			502.835 ,36
Chloruration			164.886 ,83
Entretien général (réparation des constructions, routes, réservoirs, etc.)			54.728 ,22
Frais généraux			203.457 ,28
	Total		4.196.010f,37

Le rapport de la production aux dépenses s'est donc élevé à $\frac{12.080.096,50}{4.196.010,37} = 2,878$.

Le rapport donne les détails suivants sur ces différents comptes.

Digitized by Google

MINE. — 1° *Travaux de développement.* — Ils comportent :

Surveillance. Salaires du capitaine de mines, des contremaîtres, des conducteurs des perforatrices et des gardiens		38.636f,19	
Travaux de surface. Ajusteurs, pose de plaques, charpentiers et leur outillage, ouvriers indigènes et leur nourriture, explosifs		110.217 ,39	
Air comprimé. Proportion de frais (?). .	104.957f,08		
Entretien des perforatrices.	48.971 ,35		
Acier pour forêts	5.260 ,95		
		159.189 ,38	
Forgerons. Affûtage des outils.		58.142 ,03	
Entrepreneurs des travaux souterrains.			
Main-d'œuvre	298.378f,40		
Explosifs	249.981 ,75		
Fournitures.	2.961 ,81		
Bougies (éclairage)	7.509 ,22		
		558.831 ,18	
			925.016 ,17
Extraction du minerai			144.714 ,98
Total.			1.069.731f,15

2° *Travaux miniers :*

Abatage du quartz (salaires et matériaux)	1.633.340 ,21

3° *Entretien de la mine :*

Réparation des appareils d'extraction, des pompes et du matériel de la mine (salaires et fournitures).	77.890 ,92
Total général.	2.780.962f,28

Rapportées à la tonne de minerai extrait (86.031 T,083) ces dépenses s'élèvent à 32f,32. Mais il est clair que ce prix de revient, adopté dans le rapport, n'est pas établi d'une manière rationnelle. Les seuls frais proportionnels au tonnage sont ceux d'abatage et d'extraction, qui s'élèvent à 1.778.056f,19, soit 20f,66 par 1.000 kilogrammes ; les autres, s'élevant à 1.002.906f,89, en sont indépendants. Tout au plus, pourrait-on les rapporter au tonnage mis à découvert et préparé par les travaux de développement, tonnage qui représente environ 210.000 tonnes. Au taux de 86.000 tonnes exploitées par an, la mine est préparée pour deux ans et demi d'exploitation.

On remarquera que dans les 558.831f,18 de percements souterrains, la main-d'œuvre n'entre quepour 298.378f,40 ou environ 53 p. 100, ce qui est une proportion faible.

Le rapport, fort sobre de détails sur l'exploitation de la mine,

Digitized by Google

en donne de fort intéressants sur les dépenses d'amalgamation et de cyanuration.

Moulin d'amalgamation, composé de 60 flèches de bocard ayant bocardé 86.031 tonnes, soit 1.434 tonnes par flèche et par an.

				Totaux.	Pour 1.000^{kg} bocardés.
Concasseurs. Salaires				9.079^{f},67	
Force motrice			14.662^{f},41		
Fournitures. Mâchoires de concasseurs (3.602^{k})			3.342,97		
Divers			5.383,69		
				23.389,07	
Total				32.468^{f},74	0^{f},37
Bocards. Transport au moulin				4.173,17	
Salaires			108.066^{f},65		
Fournitures. Mercure (1.655^{k},6)		12.804^{f},74			
Têtes de flèches	5.206^{f},93				
Sabots (17.752^{k})	17.876,03				
Dés (8.872^{k})	9.096,16				
Tiges	3.858,85				
Mentonnets	1.032,82				
Cames	839,87				
		37.910,66			
Combustible		72.524,37			
Divers		8.724,46			
Eau		63.403,29			
			195.367^{f},52		
Criblage (?)			6.383,72	309.817^{f},89	
Entretien du moulin			31.406^{f},61		
Divers			4.539,77		
				35.946,38	
Total				349.937^{f},44	1,07
Concentration. Salaires			39.900^{f},10		
Force motrice et eau		3.127^{f},44			
Fournitures		16.759,76			
			19.887,20		
				59.787,30	
Entretien de l'atelier				10.584,54	
Total				70.371^{f},84	0,82
Enlèvement et emmagasinage des boues. Total				24.025^{f},59	0,28
Essais. Total				12.336,99	0,14
Total général				489.140^{f},60	5^{f},68

On a consommé 1.655^{kg},6 de mercure pour produire 3.241^{kg},645^{gr} d'or, soit 0^{gr},510 par gramme d'or produit.

Digitized by Google

Le rapport n'indique pas la teneur des minerais bocardés ; on ne peut donc apprécier la marche du moulin.

Cyanuration. — L'atelier a traité 49.913 ^{T},329^{kg} et produit 557^{kg},406^{gr},483 d'or. Les dépenses se répartissent ainsi :

	TOTAUX	pour 100 des dépenses	pour 1.000^{kg} cyanurés	par GRAMME d'or produit
	fr.		fr.	fr.
Main-d'œuvre. Salaires	85.918,46	17,0	1,71	0,15
Chargement et déchargement des cuves.	109.097,46	21,7	2,18	0,20
	195.015,92	38,7	3,89	0,35
Fournitures. Combustible.	30 391,14	6,0	0,61	0,05
Cyanure, 29.216^{kg},346 à 4 fr. le kilog.	140.306,30	27,9	2,80	0,25
Zinc, 5.679^{kg},426 à 1.155 fr. p. 1.000 kilog.	6.562,90	1,3	0,13	0,01
Divers	35.523,88	7,2	0,71	0,07
	212.784,22	42,4	4,25	0,38
Total : main-d'œuvre et fournitures.	407.800,14	81,1	8,14	0,73
Rederance	95.035,22	18,9	1,90	0,17
Total général	502.835,36	100,0	10,04	0,90

Sans indiquer la teneur des queues traitées, le rapport indique que le traitement a extrait 68,7 p. 100 de cette teneur qui se serait donc élevée à 16^{gr},18 p. 1.000 kilogrammes, représentant une valeur de 42^{f},39 au taux de 2^{f},62 le gramme d'or, valeur de l'or extrait.

On a consommé par gramme d'or produit :

Cyanure	52^{gr},4
Zinc	10 ,2.

D'après la formule d'Elsner :

$$4\,Au + 8\,KCy + O^2 + 2\,H^2O = 4\,Au\,Cy.\,KCy + 4\,KOH$$

il suffirait de 0^{gr},66 de cyanure par gramme d'or. On a donc consommé 79 fois et demi le poids de cyanure théorique.

D'après les poids équivalents du zinc et de l'or, il suffirait de 0^{gr},16 de zinc pour précipiter 1 gramme d'or. On a donc consommé 64 fois le poids de zinc théorique.

Résumé.

D'une façon générale, le gramme d'or, vendu 2^{f},9145, a coûté à la compagnie 1^{f},0158, laissant un bénéfice de 1^{f},8987.

Si l'on groupe les dépenses en deux catégories, comprenant l'une les dépenses dépendantes du tonnage produit, l'autre les dépenses qui en sont indépendantes, on obtient les résultats suivants :

Dépenses dépendantes du tonnage.

Abatage. . .	1.633.340,21	
Extraction. .	144.714,98	
		1.778.055,19
Moulin. . . .	489.140,60	
Cyanuration.	502.835,36	
Chloruration	164.886,83	
		1.156.862,79
Total des frais spéciaux.		2.934.917,98

Dépenses indépendantes du tonnage.

Mines.	1.002.906,89
Entretien général. . . .	54.728,22
Frais généraux.	203.457,28
	1.261.092,39

Le rapport des dépenses indépendantes du tonnage aux dépenses totales est 0,301.

Les frais spéciaux par 1.000 kilogrammes s'élèvent à 34f,11 ; la valeur des 1.000 kilogrammes à 140f,41 ; le rapport de ces deux quantités est donc $\frac{140,41}{34,11} = 4,116$, rapport remarquablement élevé.

(*Extrait par* M. BURTHE, *ingénieur civil des mines*, *du* Rapport officiel de M. THOMAS MEIN, directeur général de la mine Robinson, pour l'année 1893).

SUR
LA GÉOLOGIE DU CONGO FRANÇAIS

Par M. MAURICE BARRAT, Ingénieur des mines.

CHAPITRE Ier.

LE CONGO FRANÇAIS.

Plus vaste déjà que la France, notre jeune colonie, s'étend dans la zone équatoriale, sur la côte ouest et jusqu'au centre de l'Afrique. Le rivage nord de l'estuaire du Gabon (voir Pl. XIII), près de l'équateur, était fréquenté, dès le XVe siècle, par les traitants portugais; la marine française l'occupa en 1838 et, dix ans plus tard, y fonda Libreville, la capitale actuelle. Simple comptoir pendant plus de trente ans, la cité peuplée d'affranchis faillit être abandonnée en 1871. Cependant un fleuve, à 80 milles vers le sud, tentait les explorateurs.

En 1872, M. Marche et le marquis de Compiègne remontèrent en partie l'Ogooué; trois ans plus tard, M. Pierre Savorgnan de Brazza, cherchant une voie de pénétration nouvelle vers les contrées mystérieuses que Livingstone venait de révéler, poursuivit jusqu'au bout la même entreprise. L'Ogooué, navigable sur une longueur de 250 kilomètres, est ensuite obstrué par des rapides; il n'est plus qu'un ruisseau à 600 kilomètres de la côte; mais là, les indigènes n'ignorent pas l'existence

Digitized by Google

d'un autre grand fleuve, vers l'est. Sur leurs indications, M. de Brazza arriva bientôt, en traversant le pays des Batékés, à une rivière navigable, l'Alima, qui devait le conduire à la voie de pénétration rêvée.

Dans un second voyage (1879), il sut se concilier les populations riveraines du Congo, encore tout émues du passage sanglant de Stanley; une station fut fondée au bord du Pool(*); elle a reçu plus tard de la Société de géographie de Paris le nom de Brazzaville; la cité nouvelle fut reliée à la côte du Loango par l'exploration du Niari, fleuve dont l'embouchure est à 300 milles au sud de l'Ogooué et à 100 milles au nord du Congo. Ainsi étaient circonscrits les territoires qui forment aujourd'hui la partie la mieux connue de notre colonie.

En 1883, M. de Brazza, chargé d'en prendre possession au nom de la France, repartit pour l'Afrique avec un personnel nombreux (mission de l'ouest africain). Bientôt, notre pavillon flotta le long de la côte, de l'embouchure de l'Ogooué à celle du Congo : au cap Lopez, à Mayoumba, à Loango, sont établis depuis lors des postes français. Une série de stations furent fondées sur l'Ogooué : elles s'appellent aujourd'hui Lambaréné, Njolé, Lopé, Boué, Lastoursville, Franceville; sur l'Alima : Diélé et Lékéti; sur le Niari et le long de la route de Loango à Brazzaville : Loudima, Bouanza, Comba.

Ce rapide développement fut arrêté par la conférence de Berlin (1884-1885), qui réalisa le rêve de Stanley en constituant l'État indépendant du Congo avec Sa Majesté Léopold II, roi des Belges, comme souverain. La frontière suit en partie le Tchiloango, petit fleuve compris entre le Niari et le Congo (**), une ligne encore indécise

(*) Lac formé par le Congo, à 400 kilomètres de son embouchure.

(**) Sur le Bas-Tchiloango, les Portugais ont conservé l'enclave de Landana et Cabinda.

Digitized by Google

qui aboutit vers Manianga, sur le Congo, puis ce fleuve et son affluent de droite l'Oubangui, jusqu'au quatrième parallèle nord; enfin ce parallèle (*).

Limitée au sud et au sud-est, notre colonie a continué à se développer dans d'autres sens. En 1884, des postes ont été fondés sur la côte, au nord du Gabon : Bénito, Bata, Campo (**). A l'intérieur, nous avons occupé effectivement la rive droite de l'Oubangui jusqu'à sa rencontre avec le quatrième parallèle (Bangui, les Abiras); de là, trois missions se sont successivement dirigées vers le Tchad (Crampel; MM. Dybowski et Maistre). M. de Brazza, continuant son œuvre, s'est établi sur la Sanga, affluent du Congo compris entre l'Alima et l'Oubangui; il y a été rejoint, en 1892, par M. Mizon, qui venait de remonter le Niger et la Bénoué et de traverser l'Adamaoua. Une convention, récemment conclue à Berlin (14 mars 1894), définit la frontière qui nous sépare de la colonie allemande du Caméroun par une ligne qui suit à peu près le parallèle 2°10′ nord, puis le méridien 15° est de Greenwich (12°45′ de Paris), qui oblique vers l'ouest pour nous donner accès au bassin du Niger, et qui aboutit au Tchad en empruntant une partie du cours du Chari.

Vers le nord et vers le nord-est, le champ est encore vaste; par là le Congo français peut s'étendre jusqu'à l'Algérie et jusqu'au Nil.

Il ne nous a pas paru inutile de rappeler sommairement la genèse de notre colonie et d'en indiquer les limites à larges traits. Avant de passer à l'étude géolo-

(*) La convention franco-congolaise du 14 août 1894 consacre l'occupation par les troupes congolaises de la région comprise entre l'Oubangui et la rive gauche de son affluent de droite le Mbomou et située au nord du quatrième parallèle (voir Pl. XIV).

(**) Le territoire situé en face des îles Elobi nous est contesté par l'Espagne.

gique, il convient encore d'en donner une rapide description physique ; mais nous nous bornerons désormais à la bande de terrain parallèle à la côte et large de 500 à 600 kilomètres.

Le pays, ainsi défini, présente trois aspects distincts. La zone littorale, plate, couverte d'alluvions, est découpée de lacs nombreux et d'estuaires profonds. La zone montagneuse commence à une distance variable de la côte : au nord du Gabon, les premiers contreforts des monts de Cristal plongent presque dans la mer et les crêtes s'élèvent rapidement jusqu'à 1.500 mètres ; dans l'Ogooué, au contraire, les premières collines apparaissent à 200 kilomètres de la côte, les sommets ne dépassent pas 800 mètres. Au sud, le Mayombe, région des montagnes et des forêts, succède à 50 kilomètres de sables ; dans le lit du Congo, les premiers pointements rocheux apparaissent à Boma, à 100 kilomètres de l'embouchure du fleuve.

Les montagnes présentent parfois des crêtes assez nettes, alignées parallèlement, comme l'indique le nom de « Sept chaînes » donné par les Portugais. En d'autres points, ce sont plutôt des successions de massifs arasés, des plateaux, au milieu desquels se dessinent des pics, ménagés par l'érosion. Les eaux ont joué le rôle principal dans la configuration du pays ; le phénomène orogénique fut peut-être réduit à l'intrusion d'énormes masses granitiques ; en tous cas, comme dans tous les plissements anciens, ses effets sont masqués par l'action destructive des océans et des fleuves. Cependant, par l'étude attentive des cours d'eau, de leurs vallées et de leurs rapides, corrélative de l'examen des synclinaux et anticlinaux et des massifs granitiques, on peut arriver à définir la direction moyenne de la chaîne : exactement sud-nord dans le Congo portugais, elle s'infléchit vers l'ouest en passant sur notre territoire et se relève de nouveau

Digitized by Google

dans les monts de Cristal. Le rivage reproduit assez grossièrement cette figure.

La limite intérieure de la zone montagneuse est indécise; la plupart des sommets, même les plus voisins de la côte, sont recouverts des mêmes tables de grès qui constituent les assises de la région des plateaux; le niveau de ceux-ci est en général comparable aux hauteurs les plus considérables de la chaîne (sauf dans les monts de Cristal) et la transition est presque insensible.

Au sud et à l'est, le Congo, rival du fleuve des Amazones, couvre de son réseau, en grande partie navigable, une superficie égale à huit fois celle de la France. Son débit moyen est de 50.000 mètres cubes à la seconde, on évalue le volume des sédiments qu'il entraîne en un an à 350 millions de mètres cubes. Parmi ses affluents de droite, ceux qui nous intéressent plus spécialement sont l'Oubangui, la Sanga, la Mossaka et l'Alima; les confluents des trois derniers sont presque confondus en une vaste région marécageuse, complètement inondée à la saison des pluies, et présentant à la saison sèche un réseau de canaux au milieu d'une épaisse couche d'alluvions. De l'aspect du pays au delà de cette zone, nous ne dirons pas grand'chose; on n'en possède point de description d'ensemble, et les documents géologiques font presque complètement défaut. Toutefois, la monotonie n'en est pas si grande qu'on l'a quelquefois prétendu, et des échantillons rapportés par M. Dybowski du haut Oubangui démontrent l'existence au centre de l'Afrique, de pointements rocheux analogues à ceux de la chaîne côtière.

L'Alima traverse le pays des Batékés, type caractéristique de région de plateaux; on n'y trouve point de roche cohérente, mais seulement des grès friables et des sables, profondément creusés par les eaux et soulevés en

dunes par le vent. C'est au milieu de ces roches tendres que le Congo se recueille en un vaste réservoir, le Stanley Pool, avant de se précipiter de table en table, puis de bief en bief jusqu'à l'Océan, sur une longueur de 400 kilomètres, par une chute totale de 300 mètres.

Entre le bassin du Congo et celui du Niger, ces deux grands déversoirs de l'Afrique centrale, des fleuves moins importants prennent leur source sur la bordure extérieure des plateaux et n'amènent guère à la mer que les eaux de la chaîne côtière; ils ne peuvent donc constituer à eux seuls que des voies de pénétration d'ordre secondaire; mais il est assez logique de chercher à utiliser leurs vallées pour relier à la côte le réseau navigable du Congo. Le Tchiloango, qui forme la frontière entre notre colonie et l'État indépendant, ne permettrait pas de s'avancer au delà de 200 kilomètres, et les difficultés que l'on rencontrerait seraient au moins égales et probablement bien supérieures à celles qu'éprouvent les Belges sur la rive gauche du Congo.

Le Niari-Kouilou, au contraire, traverse la zone montagneuse en un point où la largeur en est peu considérable; sa vallée est en partie suivie par la route de porteurs qui va de Loango à Brazzaville, et c'est par là, semble-t-il, que l'on aurait le moins de difficulté à établir un chemin de fer joignant le Stanley-Pool. Peut-être même suffirait-il de quelques dérochements pour rendre le fleuve partiellement navigable; et l'on aurait alors une voie mixte, moins coûteuse. La vallée du Nianga, encore mal connue, est d'ailleurs trop au nord; on n'y pourrait faire que l'amorce d'une voie dont la longueur totale serait au moins double de la précédente.

Enfin, à 400 milles au nord-ouest de l'embouchure du Congo, est situé le delta de l'Ogooué qui s'étendit autrefois de la lagune Nkomi à l'estuaire du Gabon, sur une largeur de plus de 200 kilomètres; le cap Lopez qu'il

Digitized by Google

enveloppe est le point le plus occidental de la côte jusqu'au golfe de Guinée, la zone côtière ayant sans doute été agrandie par les alluvions; le bas fleuve est entouré de lacs et de canaux enchevêtrés, marquant son ancienne extension; avant d'arriver à l'Océan, il se divise en plusieurs bras.

Déchu de sa splendeur passée, l'Ogooué, que l'on prit d'abord pour une branche du Congo, est encore un beau fleuve, supérieur au Rhin par son débit : 10.000 en moyenne et jusqu'à 50.000 mètres cubes à la saison des pluies; sa longueur développée est de 1.200 kilomètres. Il forme un demi-cercle ouvert vers le sud et dont le diamètre-limite est dirigé vers le nord-ouest; ses affluents de gauche, Liboumbi, Lolo, Ofoué, Ngounié, rayonnent autour d'un massif montagneux (*), situé un peu au nord de ce diamètre et où prennent également leur source le Nianga et un important affluent du Niari-Kouilou; ses affluents de droite, Passa, Sébé, Ivindo, Okono, Banga, semblent prolonger en sens inverse le rayonnement des premiers.

Des deux fleuves qui se déversent dans l'estuaire du Gabon, comparable à celui de la Gironde, le Ramboé, qui correspondrait à la Garonne, semble n'être qu'une ancienne bouche de l'Ogooué; le Como, au contraire, paraît avoir toujours eu une existence propre : il descend rapidement des plus hauts sommets des monts de Cristal, d'abord torrent, puis fleuve impétueux, resserré entre des rives taillées à pic. Les fleuves du nord de la Gabonie, Mouni, San-Benito, Campo, présentent les mêmes caractères.

Ces vastes contrées sont sillonnées d'itinéraires déjà nombreux, mais qui suivent le plus souvent les voies fluviales; aussi, à part la région qui s'étend entre la

(*) Les monts Birogou, signalés par Duchaillu dès 1865.

Digitized by Google

côte du Loango et Brazzaville, l'intérieur du pays est à peine connu, et, par là, le labeur du géologue se trouve singulièrement augmenté. Les cartes sont tout à fait sommaires et défectueuses; on ne peut guère citer, comme travaux d'ensemble, que la carte de l'Afrique au 1/2.000.000, publiée par le service géographique de l'armée (1889-1891), feuilles : Libreville, San-Salvador, etc., — la carte du Congo français de M. Rouvier, au 1/1.850.000.

Le ministère des colonies fait étudier une carte au 1/2.000.000 qui résumera les renseignements actuellement acquis, et qui pourra servir de base à la carte géologique.

CHAPITRE II.

EXPLORATIONS GÉOLOGIQUES (*).

En 1876, dans l'Ogooué, M. de Brazza fut bien surpris d'apprendre des indigènes qu'un « docteur » était établi depuis quelques mois chez les Okandais; il vint le prier de soigner un malade de sa troupe, mais l'autre se récusa : il était docteur en géologie. Le Dr Lenz avait d'abord parcouru les îles Elobi et la partie voisine de la côte, remonté le Mouni et son affluent le Temboni; séjourné au Gabon et dans le Como; puis le fleuve à la mode, l'Ogooué, l'avait tenté; péniblement, il avait atteint le pays des Okandais et il n'y prospérait pas. Tandis que son heureux rival passait dans le bassin du Congo, l'explorateur autrichien, trompé et dépouillé par ses piroguiers, était obligé de se retirer. Du moins il rapportait de précieux documents géologiques.

Il a résumé ses observations en une carte qui est extrê-

(*) On trouvera à la fin du travail une liste bibliographique des travaux ayant trait à la géologie du Congo.

Digitized by Google

mement curieuse, parce que l'on y peut voir jusqu'où l'abus du syllogisme mène en géologie. Possédant une coupe, d'ailleurs fort imparfaite, sachant, d'après les récits des Portugais que les chaînes de montagnes sont sensiblement parallèles à la côte, il a simplement mené des lignes équidistantes par les points limites déterminés par l'Ogooué; l'extrapolation est poussée jusqu'au delà du Congo, à 600 kilomètres de la région visitée, et le résultat est fort inexact. De même, le Dr Lenz a trouvé dans l'Ogooué des blocs de granite, mais jamais en place; cela est très extraordinaire, car les Okandais montrent encore la « Case du Docteur », où M. Lenz a séjourné pendant plusieurs mois, et leur pays présente, comme nous le verrons, des massifs granitiques de plusieurs kilomètres de puissance: bref, pour expliquer la présence de ces blocs prétendus erratiques, le géologue autrichien suppose qu'il existe, dans l'intérieur, un énorme massif granitique; et un large pâté rouge couvre, sur sa carte, le pays des Batékés, où l'on n'a jamais trouvé que du sable. La tentative du Dr Lenz était donc prématurée, parce qu'il ne disposait que d'un nombre trop faible d'observations; celles-ci n'en sont pas moins intéressantes et en partie exactes.

Vers la même époque, le Dr Pechuel-Lœsche, professeur à l'université d'Iéna, remontait le Congo jusqu'au Stanley-Pool, déterminait les principales zones géologiques et signalait leur extension dans les bassins du Nianga et du Niari-Kouilou.

Parmi les collaborateurs que M. de Brazza avait amené en Afrique, en 1883, se trouvait son frère, Jacques-S. de Brazza, qui a recueilli de nombreux échantillons, déposés depuis au Muséum, et qui a commencé une esquise de carte géologique : la mort arrêta ses travaux; mais, par bonheur, j'ai retrouvé, après bien des recherches, le croquis sur lequel sont reportées les observations du jeune naturaliste. Mieux que le Dr Lenz,

il paraît avoir saisi l'importance du granite dans le massif de l'Ogooué; il signale aussi la prodigieuse extension, à l'intérieur, des grès friables négligés par le géologue autrichien. Enfin, dans son exploration de la rivière Sébé, il a rencontré une série de massifs granitiques et métamorphiques; c'est là, comme nous le verrons, une constatation de la plus haute importance.

Parmi les nombreux agents de la colonie qui ont parcouru la route de Loango à Brazzaville, deux se sont particulièrement intéressés à la géologie : ce sont MM. Cholet et Thollon. Cholet, qui depuis est mort à la peine, a donné au Muséum une collection d'échantillons sans catalogue. Ayant retrouvé, d'autre part, une carte manuscrite sur laquelle sont reportés les numéros correspondants, j'ai pu tirer parti de ces intéressants documents.

M. Thollon est connu des minéralogistes par les belles dioptases qu'il a découvertes à Mindouli, près de Comba; il a recueilli diverses roches, principalement des calcaires, sur la route de Loango à Brazzavile et au cours de son exploration du Djoué, rivière qui se jette dans le Stanley-Pool. Il a bien voulu me donner des indications verbales sur les collections qu'il a déposées au Muséum et à l'exposition permanente des colonies.

Dans la vallée du Congo, M. le commandant Zboïnski a repris, en 1884-1885, les observations de M. Pechuel-Lœsche. Enfin M. Dupont, directeur du Muséum de Bruxelles, a relevé la coupe de la même région jusqu'au confluent du Kassaï. Malheureusement, le savant géologue belge n'a encore présenté ses observations que sous une forme trop sommaire pour qu'on puisse les admettre sans discussion et les interpréter sans risque de malentendu.

Chargé par le gouvernement d'étudier la constitution géologique et les richesses minérales de notre colonie,

Digitized by Google

j'ai concentré mes efforts sur la partie nord, cherchant à obtenir une coupe parallèle à celle de M. Dupont et éloignée d'elle de 500 à 600 kilomètres. Dans ce but, j'ai remonté l'Ogooué jusqu'à Franceville, et je suis revenu à Libreville en traversant la partie gauche du bassin de ce fleuve jusqu'à Njolé, puis son affluent de droite la Banga, et enfin les monts de Cristal. J'ai ainsi repris, complété et continué les observations de M. Lenz et de J. de Brazza, le long d'un itinéraire en forme de huit, dont la longueur développée est d'environ 2.000 kilomètres (juillet-décembre 1893).

On peut maintenant, grâce à ces coupes et à celles de M. Dupont, grâce aux observations intermédiaires de MM. Cholet et Thollon, refaire avec plus de chances de succès la tentative de M. Lenz : c'est le but du présent travail. Mais les choses, regardées de près, paraissent singulièrement plus compliquées que ne le prévoyait le géologue autrichien : l'analogie est loin d'être complète entre la coupe de M. Dupont et la mienne, et les lacunes intermédiaires nous réservent encore bien des surprises. Cette seconde tentative de synthèse pourrait bien paraître, dans quelques années, aussi puérile que la première l'est aujourd'hui, si je n'avais la ferme intention de la compléter, de la perfectionner sans cesse, à mesure que les éléments nouveaux seront mis en lumière. J'estime que ce sera le meilleur moyen de m'acquitter envers tous ceux qui ont bien voulu encourager mes débuts et auxquels je dois tout d'abord l'affirmation de ma gratitude.

M. le ministre des colonies et le gouvernement du Congo français m'ont très littéralement donné les moyens de mener à bien les diverses parties de ma tâche; et mes maîtres n'ont point hésité à me prodiguer leurs conseils dans l'étude d'un sujet vaste, au milieu duquel mon inexpérience risquait fort de s'égarer.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

FORMATIONS LITTORALES ET SUPERFICIELLES.

Des idées si clairement énoncées par M. Suess sur la constitution géologique de l'Afrique, de l'aspect même du pays que nous avons rapidement décrit, résultent la division que l'on doit adopter dans la présente étude et la distinction de deux zones essentielles, littorale et centrale. Celle-ci est subdivisée par les géographes en deux autres : zone montagneuse et zone de plateaux; nous verrons qu'au point de vue géologique, ce ne sont que deux aspects de la même constitution, différenciés par l'érosion. Il n'en résulte pas moins que la région centrale, si importante par son extension, est aussi très variable d'aspect, suivant que l'on étudie ou non une partie dénudée. Dans le second cas, on aura des plateaux de grès et des dunes de sable. Dans le premier au contraire, la couverture de grès ayant été plus ou moins détruite par l'érosion, on verra le substratum, une apparence de chaine, plus exactement un ensemble de terrains sédimentaires, cristallins et métamorphiques plus ou moins plissés et découpés, et recouverts d'une épaisse couche d'argile, détritique ou sédimentaire. Toujours l'étude sera rendue singulièrement difficile par l'absence complète de fossiles et par l'importance des formations superficielles, argile ou sable.

La zone littorale, plate, découpée de lacs et d'estuaires nombreux, par conséquent d'un accès assez facile, formée de lambeaux crétacés ou tertiaires disséminés le long de la côte et généralement fossilifères, peut paraître, à première vue, d'une étude beaucoup plus simple ; en réalité, plus encore que dans la zone montagneuse, les couches

intéressantes y sont masquées par les alluvions et par les eaux. Elle forme comme le seuil du continent mystérieux, et l'on est en droit d'exiger pour elle plus de détails que pour les parties centrales ; aussi, est-ce par elle que nous commencerons notre étude. Puis, nous dirons quelques mots de l'épais manteau d'argile et de sable qui s'étend sur tout le pays et qui rend les observations si rares et si difficiles. Enfin, dégagé de ce souci, nous nous attaquerons au massif central.

Crétacé. — Le Dr Lenz a signalé le premier, en 1874, l'existence de couches crétacées et tertiaires sur la côte occidentale d'Afrique. Au nord du Gabon, les iles Élobi, et une partie de la côte voisine, à l'embouchure du Mouni et du Mounda, sont formées de couches horizontales de grès à grains fins ; on y trouve des débris de plantes transformées en charbon et de nombreux fossiles, entre autres des Ammonites. M. le Dr Ladislas Szajnocha, de l'Université de Cracovie, a étudié les Céphalopodes rapportés par le géologue autrichien. Il a distingué quatre espèces peu différentes :

Schlœnbachia inflata,
— *inflatiformis*,
— *Lenzi*,
— *Elobiensis*.

et il a attribué la formation gréseuse au Cénomanien.

L'*Ammonites inflatus* et ses variétés ont été trouvés en divers points de la côte du Congo portugais : à Great-Fish Bay, au nord de Mossamedès, par le Dr Pechuel-Lœsche ; dans la province d'Angola par M. Malheiro ; à la baie de Lobito, près de Saint-Philippe de Benguela, par M. Cavelier de Cuverville.

Les fossiles recueillis en Angola par M. Malheiro proviennent de trois localités : Saint-Paul de Loanda, Catum-

bella, au nord de Benguela, et Dombe-Grande. M. Choffat, qui les a étudiés avec beaucoup de soin, les répartit en un certain nombre de niveaux crétacés et tertiaires plus ou moins nets :

1° Couches à *Pholadomya pleuromyæformis* formant la base du crétacé fossilifère (Dombe-Grande). Les fossiles les plus intéressants sont :

Céphalopode :	*Acanthoceras mamillare.*
Gastropodes :	*Glauconia,*
—	*Natica.*
Lamellibranches :	*Pholadomya,*
—	*Pinna,*
—	*Janira.*
Oursins :	*Salenia Dombensis,*
—	*Pygurus africanus.*
Age probable :	Albien.

2° Faune douteuse à Bryozoaires, Polypiers, Foraminifères (Orbitoïdes).

3° Couches à *Cyprina Ivensi*, renfermant à la fois l'*Epiaster Catumbellensis* et des Bryozoaires.

4° Couches à *Schlœnbachia inflata* (Catumbella et Dombe-Grande).

Céphalopodes :	*Schl. inflata, Lenzi, Elobiensis* et *inflatiformis,*
—	*Hoplites dispar,*
—	*Puzosia,*
—	*Hamites virgulatus.*
Lamellibranches :	*Ostrea vesiculosa.*
Oursins :	*Isaster Benguellensis,*
—	*Epiaster Catumbellensis,*
—	*Holaster Dombensis.*

Les deux faunes de Dombe-Grande et de Catumbella

se distinguent entre elles principalement par l'absence d'Ammonites déroulées dans la première.

Age probable : Vraconnien.

5° Calcaires oolithiques avec :

Nerinea Capelloi,
Cerithium Silva-Portoi,
Acteonella Anchietai,
Stigmatopygus Malheiroi,
Polypiers roulés.

6° Grès à *Ostrea Baylei* et à *Ostrea Olisiponensis* avec :

Cerithium,
Cardium,
Cyprina,
Roudairia,
Janira.

D'après M. Choffat, ces deux formations représentent le Cénomanien et, peut-être, un niveau plus élevé encore (*).

Les fossiles de Lobito ont été décrits par M. Stanislas Meunier, qui signale les espèces suivantes :

Céphalopodes :	*Schlœnbachia inflata*,
—	*Desmoceras Cuvervillei*,
—	*Hamites virgulatus*,
—	*Hamites tropicalis*.
Gastropodes :	*Rostellaria*.
Foraminifères :	*Orbulina* et *Rotalia*.
Age probable :	Albien.

Entre les îles Elobi et l'Angola, par conséquent sur la plus grande partie de la côte de notre colonie, l'*Ammonites inflatus* n'a pas encore été signalée. Une Ammonite provenant du village de Denis, situé sur la rive méridio-

(*) Ces faunes rappellent celles du sénonien de Tunisie (de Lapparent, *Traité de géologie*, p. 1204).

nale de l'estuaire du Gabon, en face de Libreville, a figuré à l'Exposition universelle de 1878; mais je n'ai pu la retrouver; il existe seulement, à Denis, des bancs calcaires avec de nombreuses coquilles d'huîtres (*).

Sur la rive septentrionale de l'estuaire, le Dr Lenz a signalé, près du village de Glass, un calcaire sableux horizontal, riche en fossiles : Gastropodes, Bivalves, pinces de Crustacés, Echinides; il attribue cette formation à l'éocène. Ce banc est actuellement exploité comme carrière de pierre à chaux. La roche est dure, blanche, pétrie de fossiles: les plus caractéristiques sont un Inocérame et un oursin. Le premier est, d'après M. Douvillé, ingénieur en chef des mines, très voisin de l'*Inoceramus labiatus;* le second, d'après M. Gauthier, ressemble très étroitement à une espèce d'Algérie, l'*Echinobrissus pseudominimus;* celle-ci se trouve à Laghouat, dans un rocher de calcaire blanc, très dur, très semblable à celui du Gabon, et attribué par M. Gauthier au turonien supérieur. On voit aussi, dans le calcaire de Glass, des pinces de crabes rappelant celles des *Callianassa*, fréquentes en d'autres pays au même niveau, une grande Cyprine et des représentants des genres *Cardium*, *Voluta*, *Corbula*, *Cardita*, etc. L'Inocérame et l'oursin paraissent indiquer le turonien et par suite un niveau distinct de ceux qui ont été décrits par MM. Szajnocha, St. Meunier et Choffat; toutefois, il ne faut pas oublier que l'âge de certaines des couches signalées par M. Choffat n'a pu être précisé; c'est le cas en particulier pour les couches 5 et 6.

Au village de Louis, un peu à l'ouest de Libreville, on trouve, au bord de la plage un massif calcaire riche en Cérithes et en Turritelles de grande taille; la roche est

(*) De même les falaises d'Ambrisette, au sud du Congo, sont formées, d'après le Dr Pechuel-Lœsche, par du calcaire blanc, pétri de coquilles d'huîtres.

Digitized by Google

dure et les fossiles, transformés en calcite, se brisent facilement. Ce premier banc est surmonté d'un second, qui est pétri d'huitres.

Tertiaire. — Tandis qu'au Gabon et dans l'Ogooué les couches horizontales sont des calcaires et des grès, la falaise de Loango, d'après M. Pechuel-Lœsche, est formée d'une roche sans cohésion, en grains d'un brun foncé, non effervescente, riche en ocre ferrugineuse ; elle renferme des coquilles de *Leda*, *Mactra*, *Tellina* et *Cardium*. A Landana, le même géologue a récolté des restes de poissons, une dent de crocodile, un coprolithe et un nautile.

M. Choffat indique aussi plusieurs formations tertiaires sur la côte d'Angola, mais sans préciser leurs âges :

Mollasse jaunâtre (Loanda) avec *Cardium*, *Tapes*, *Venus*, *Pectunculus*.
Mollasse marine (Dombe-Grande) avec *Pseudoliva* et *Calyptræa*.
Calcaire oolithique (Dombe-Grande) avec *Strombus*.

M. Schlumberger a étudié les Foraminifères abondants dans une marne de Dombe-Grande, il les rapporte au miocène.

En résumé, on peut dire que la zone littorale du Congo français est formée de couches à peu près horizontales de grès, de calcaires, de mollasses et de marnes s'élevant à quelques mètres au-dessus du niveau de la mer. Les différentes formations que l'on y peut constater, soit en des points différents, par suite des faibles ondulations perpendiculaires à la côte, soit, plus rarement, superposées, appartiennent à la partie supérieure du crétacé inférieur, au crétacé supérieur et au tertiaire. Les seuls niveaux actuellement définis sont les suivants :

Albien,
Vraconnien,
Cénomanien,
Turonien,
Sénonien,
Éocène,
Miocène.

Les étages les plus anciens n'ont encore été signalés qu'au nord de la colonie et dans le Congo portugais; mais il existe encore de telles lacunes dans nos connaissances qu'on ne peut point affirmer l'existence d'une sorte de cuvette occupant la plus grande partie de notre région côtière, et où le crétacé supérieur et le tertiaire affleureraient seuls (*).

C'est au bord de l'Océan que l'on doit rechercher ces couches, soit pour les étudier, soit pour les utiliser; à l'intérieur, elles sont recouvertes par les alluvions et par les eaux. Il est difficile de limiter leur extension; mais on en peut fixer un maximum : c'est la largeur de la zone littorale, une centaine de kilomètres en moyenne dans notre région. Au contraire, à la hauteur de Loanda, le calcaire crétacé semble s'étendre fort loin à l'intérieur, ce qui prouve l'existence, en ce point, d'un golfe dans le massif central.

Phénomènes volcaniques. — En avant du rivage, le long d'un même grand cercle qui correspond sans doute à une importante cassure, sont alignés une série de volcans, probablement tertiaires; le Caméroun, haut de 4.000 mètres, et son voisin, le Roumbi, sont soudés au rivage; mais vers le sud-ouest, Fernando-Po, Principe,

(*) On pourrait aussi invoquer l'hypothèse d'un affaissement postérieur de cette partie de la côte.

San-Thomé, Annobon et Sainte-Hélène forment un écran d'îles volcaniques.

Les puits de bitume et les sources salées que l'on trouve en divers points de la région côtière sont, sans doute, en relation avec ces éruptions. La pointe Ngombé, près de Libreville, est un massif peu étendu de limburgite (*), et l'on peut attribuer à la même venue rocheuse le basalte néphélinique et la liparite, rapportés par M. Malheiro de Dombe-Grande et décrits par M. Choffat.

Argile. — L'énorme développement de l'argile ferrugineuse est un des caractères les plus frappants de la géologie africaine. A partir de Dakar, on aperçoit à toutes les escales des blocs de limonite bulleuse, qui, à Sierra-Leone et à Libreville, ont été employés dans la construction de divers édifices publics. Toute la région voisine de la côte jusqu'à 200 ou 300 kilomètres à l'intérieur, est couverte d'une argile sans schistosité, avec, en quelques points, des marnes et, fréquemment, des masses concrétionnées de minerai de fer.

Le Dr Lenz signale cette formation dans le Mouni et dans ses affluents, dont les berges sont hautes de vingt mètres, au Gabon, dans l'Ogooué, et jusque sur les sommets de la chaîne côtière ; il la décrit avec complaisance, il l'assimile au diluvium et lui donne le nom de latérite; il rappelle qu'on en trouve d'analogue en Asie et en Amérique, mais il laisse son origine entourée de mystère.

L'argile est un produit de décomposition superficielle plus ou moins remanié par les eaux; mais tandis que dans les pays tempérés cette destruction est le plus souvent très limitée, elle prend une importance capitale dans les pays équatoriaux et tropicaux, par l'action com-

(*) 1re consolidation : olivine, pyroxène.
2e — pyroxène, augite, fer oxydulé, verre basique brun.

Digitized by Google

binée d'une température très élevée et de pluies très abondantes. Les roches qui donnent naissance à l'argile sont principalement les schistes, métamorphiques ou non, qui forment la bordure du massif central, et en seconde ligne les granites et les diabases. L'abondance du fer s'explique par la décomposition de filons de magnétite et d'oligiste et principalement par l'oxydation et par la dissolution des pyrites contenues dans les schistes détruits ou même demeurés en place. La formation présente des caractères distincts suivant qu'elle est à son lieu d'origine ou qu'elle a été remaniée par les eaux.

Dans le premier cas, il y a une grande analogie de composition et même parfois de couleur entre la couche superficielle et la roche en profondeur ; c'est ainsi que les schistes verdâtres du mont Ababé (monts de Cristal), sont recouverts d'une argile gris-verdâtre, complètement distincte de la latérite ordinaire. Le produit de décomposition repose directement sur le terrain décomposé, sans trace de stratification dès que la transformation est assez avancée ; il enveloppe parfois des fragments intacts de la roche-mère et le passage de celle-ci à son produit est continu. De telles formations se trouvent principalement sur les sommets et sur les flancs des collines.

Au contraire, dans les bas-fonds, sur les plateaux étendus et peu élevés, dans toute la zone littorale, la latérite a un caractère très net d'alluvion : non qu'elle soit toujours stratifiée ; dans sa partie supérieure, elle est au contraire concrétionnée par la circulation ultérieure des eaux, par la venue des éléments ferrugineux, par leur concentration autour de centres probablement organiques. Mais si l'on fait la coupe jusqu'au terrain solide, on voit les choses se distinguer nettement du cas précédent : tout d'abord, il n'y a aucune corrélation entre le sol et le sous-sol ; dans l'Okanda, par exemple,

la même argile recouvre ici un granite, plus loin un quartzite ; à la base de la formation récente, on trouve généralement un lit de cailloux roulés, cimentés par de l'oxyde de fer, quelquefois des lits alternants de sable et d'argile, puis une couche de limonite, manganésifère à sa base, enfin l'argile jaunâtre ou rougeâtre, homogène en sa composition ; parfois deux ou trois séries analogues se sont superposées et alors la stratification apparait nettement.

Sables. — L'argile recouvre les terrains schisteux et les parties les plus voisines de la côte, où elle a été apportée par les eaux ; les sables, déposés à l'état actuel ou provenant de la destruction de grès s'étendent vers l'intérieur. Comme les argiles, ils peuvent être en place ou stratifiés ; mais ici la distinction est plus délicate et présente moins d'intérêt ; de plus, un nouveau facteur de remaniement intervient : le vent forme, dans le pays des Batékés, des dunes atteignant parfois 200 et 300 mètres de hauteur.

Dépôts postpliocènes et actuels des fleuves. — Après le diluvium, pendant lequel de très grandes surfaces furent couvertes par les eaux et s'étendit la nappe d'argile stratifiée dans les bas-fonds et sur la zone littorale, les lits des fleuves se resserrèrent ; mais ils conservent encore des extensions très différentes à la saison sèche et à la saison des pluies ; pendant la seconde, des masses énormes d'argiles et de sables sont entrainées et forment des bancs mouvants qui apparaissent aux basses eaux, parfois sur des étendues considérables ; souvent d'épaisses couches de feuilles sont interstratifiées. Là où le courant est trop fort pour que des bancs se déposent, dans toute la région des rapides, le lit du fleuve est recouvert d'un poudingue à ciment ferrugineux formé par la réunion de

Digitized by Google

blocs charriés de grosseurs et de provenances quelconques. A la saison sèche, ce poudingue émerge souvent dans le moyen Ogooué et complique l'étude du sous-sol dans le lit du fleuve, comme la latérite dans l'intérieur du pays.

Dans la vallée du Congo, le dépôt postpliocène est encore plus important, et d'après M. Dupont, il s'étend au nord jusqu'aux sommets qui limitent le bassin du Niari; son épaisseur atteint parfois 100 mètres ; à sa base, on trouve des cailloux roulés, cimentés par de l'oxyde de fer, puis des couches alternées de sables quartzeux, de sable argileux, d'argile rouge et grise. De l'autre côté de la crête, au contraire, le sol n'a pas été balayé par l'énorme masse des eaux du fleuve ; il est recouvert d'argile rouge probablement détritique.

Formations saumâtres actuelles. — Dans toute la région voisine de la côte, la terre semble empiéter de plus en plus sur l'Océan, et cela pour deux raisons. Tout d'abord le fouillis inextricable des racines de palétuviers retient les alluvions apportées par les fleuves : ainsi la zone marécageuse se solidifie peu à peu. Puis, il est probable que le mouvement d'émersion qui, d'après M. Suess, a commencé à la fin du trias, et qui s'est poursuivi pendant les ères secondaire et tertiaire, jusqu'à faire apparaitre les dépôts miocènes formés au pied du grand plateau, il est probable que ce mouvement se continue encore de nos jours : ainsi émergent peu à peu des terrains marins ou saumâtres, quaternaires et actuels.

Nous prendrons pour exemple la rivière Ikoy ; c'est plutôt un vaste marécage, qui, à l'est de Libreville, se déverse dans l'estuaire du Gabon. L'eau douce, amenée par quelques ruisseaux, lutte à marée basse avec l'eau salée ; mais à marée haute, celle-ci submerge tout ; la berge est indécise au milieu de la végétation, et formée

d'une vase noirâtre dans laquelle grouillent des légions de crustacés et bâillent des colonies d'huitres de palétuviers, tous futurs fossiles. A marée basse, on voit ces masses de vase s'élever à un ou deux mètres au-dessus du fond, qui est formé d'un calcaire impur, noirâtre, cimentant des huîtres de grosse taille, encore vivantes, et des gastropodes apportés par le flot. On assiste à la fois à la formation et à l'émersion de terrains saumâtres, et l'on pourrait calculer dans combien de temps l'Ikoy sera comblé.

En résumé, les formations superficielles peuvent se distinguer en :

1° Détritiques, argiles et sables, qui ont une importance particulière par suite de l'action très intense de la chaleur et de l'humidité ;

2° Diluviales, stratifiées, à grande extension, occupant en particulier toute la zone littorale ;

3° Postpliocènes et actuelles, dans les vallées et les lits des grands fleuves, et dans les lacs dont l'extension est très variable d'une saison à l'autre ;

4° Saumâtres, quaternaires et actuelles, calcaires vaseux à faunes d'estuaire.

CHAPITRE IV.

L'OGOOUÉ.

Après avoir décrit rapidement la ceinture de crétacé et de tertiaire qui entoure l'Afrique et le manteau d'argiles et de sable qui la recouvre, il faut en arriver à l'étude de sa structure même. Nous possédons deux coupes complètes et parallèles, et un certain nombre de renseignements accessoires. Ce chapitre sera consacré à l'Ogooué ; nous y exposerons et discuterons

successivement les résultats obtenus par M. Lenz, par J. de Brazza et par nous-même. Dans le suivant, nous appliquerons la même méthode aux travaux de MM. Pechuel-Lœsche, Zboïnski et Dupont sur le Congo. Dans le chapitre VI nous grouperons les renseignements recueillis par divers explorateurs sur les monts de Cristal et sur les vallées du Nianga et du Niari-Kouilou.

L'Ogooué, d'après M. Lenz. — Du cap Lopez à Adolinolonga, près du confluent du Ngounié, les rives sont basses, formées d'argile rouge avec inclusions de silex et gisements nombreux de fer pisolithique. A partir de Lambaréné, à Samkita, aux îles Sangaladi, et dans l'Okota, on traverse les premières chaines parallèles issues du Caméroun et se prolongeant jusqu'à l'Angola. La pente des couches est forte vers l'est, et en venant de la côte, on marche sans cesse sur leurs affleurements : c'est un type de chaine à un seul côté.

Les terrains les plus anciens, dans l'Okota, sont des schistes à grains fins, peu micacés, avec, en quelques points, du talc et de la stéatite ; puis viennent des bancs de quartzites rouges et blancs et une puissante formation de micaschistes grenatifères qui caractérisent le pays des Apingis et se poursuivent jusque dans l'Okanda. Au-dessus, repose l'itabirite, schiste violacé, riche en oligiste. Près de l'Ofoué commencent les couches superposées de schistes pyriteux qui s'étendent jusqu'à la chute de Doumé ; en ce point, la montagne est traversée et la plaine recommence. Le granite n'a jamais été trouvé en place, mais des blocs erratiques assez nombreux ont présenté diverses variétés de cette roche.

Le terrain montueux et les cimes mêmes, de 300 et de 400 mètres, sont couverts d'argiles jaunes, ferrugineuses, à concrétions de *Bohnerz*, que l'on retrouve dans le bas fleuve, et de marnes blanches et colorés analogues au

lœs ; sur toute la surface de l'Okanda, dont l'altitude varie entre 150 et 200 mètres, et sur les hauteurs, les blocs erratiques de granite et de quartz sont nombreux. Il en résulte que l'Ogooué a eu autrefois une très grande extension, et que depuis le dépôt de ces blocs, son niveau s'est abaissé d'une centaine de mètres.

Une observation concordante est celle des blocs de granite et de gneiss que l'on trouve dans le bas fleuve ; elle donne les limites de l'ancienne extension ; les lacs nombreux qui sont encore en communication avec l'Ogooué par un réseau de canaux et qui en sont séparés simplement par une digue d'argile, parfois peu étendue, firent autrefois partie de son lit. Le delta du fleuve s'étendait alors du Gabon à la lagune Nkomi.

Tel est le résumé des observations du géologue autrichien ; c'est en partant de ces données qu'il a pu tracer la carte dont nous avons déjà parlé. Sa description du bas fleuve est excellente et nous n'aurons presque rien à y ajouter : dans cette partie, que l'on traverse aujourd'hui trop rapidement, en bateau à vapeur, le Docteur dut faire ses meilleures études, tout en palabrant avec le roi Soleil dont les pirogues devaient le porter chez les Okandais. Plus loin, les difficultés s'accumulèrent et la géologie passa au second rang dans les préoccupations de l'explorateur. Aujourd'hui, grâce au service de piroguiers établi par M. de Brazza entre Njolé et Franceville, les conditions sont bien différentes : là où les rives sont basses, peu intéressantes pour le géologue, on ne s'attarde point ; aux rapides, là où les roches affleurent, on va plus lentement ; et, tandis que les pagayeurs Adoumas s'ingénient à tourner les obstacles qui se dressent devant eux, on peut sauter sur la berge, recueillir des échantillons, relever des coupes.

Ainsi, dès les premiers jours de notre navigation dans le pays des Okotas, nous avons acquis la conviction que

la dénomination de chaine à un seul côté est absolument impropre ; nous avons relevé plusieurs synclinaux et anticlinaux indiquant une disposition sinusoïdale des couches; dès lors on ne peut plus dire que les terrains se succèdent de l'ouest à l'est dans l'ordre de leur âge, en formant une sorte de cuvette dont la chaine côtière serait le rebord ; et d'ailleurs, il est presque impossible d'attribuer des différences d'âge aux divers terrains métamorphiques que l'on rencontre. La complication est beaucoup plus grande en apparence ; mais elle s'explique très simplement, si l'on imagine un plateau régulièrement plissé et usé sur ses bords.

La seconde erreur du Dr Lenz est qu'il affirme que le granite n'est jamais en place dans l'Ogooué ; il en résulte qu'il ne soupçonne même pas l'origine métamorphique de la chaîne. Sans doute, dans les parties où le vrai granite n'affleure pas, à Njolé par exemple, l'erreur est facile; mais dans l'Okanda, où le géologue autrichien a séjourné plus d'un an, un banc de quartzite riche en magnétite et oligiste (son itabirite) est compris entre deux puissants massifs de granite : là, le métamorphisme est évident.

Travaux de Jacques de Brazza. — J. de Brazza, sur sa carte manuscrite, marque les principaux massifs granitiques : Lambaréné, l'Okanda, Boué, Boundgi, etc. Il appelle phyllades les terrains qui s'étendent entre Lambaréné et Njolé, entre l'Okanda et Boué, et ensuite jusqu'à Doumé. Il indique la très grande extension des quartzites à l'intérieur et l'existence d'un massif calcaire à Lastoursville. Il réserve les noms de gneiss et de micaschites aux terrains situés entre Njolé et l'Okanda ; à partir de Doumé commencent les grès compacts, puis, à l'intérieur, s'étend la masse des grès friables et des sables.

Digitized by Google

Les dénominations sont impropres, mais les observations sont généralement exactes et nous permettent de donner aux nôtres une certaine extension. Les « phyllades » du premier et du troisième groupe, de Lambaréné à Njolé et de Boué à Doumé, semblent avoir la même constitution : ce sont des schistes non métamorphiques dont les couches alternent avec celles des « quartzites », roches calcédonieuses qui résistent à la décomposition superficielle, et qui, pour ce motif, apparaissent seules à l'intérieur du pays. Le « calcaire » de Lastoursville, en réalité une dolomie, fait probablement partie du même système. Les « phyllades » du second groupe, entre l'Okanda et Boué, sont aussi des schistes non métamorphiques, mais elles renferment, au lieu de roches purement quartzeuses, des arkoses interstratifiées ; par là, elles se séparent des précédents et se rapprochent des « grès durs compacts » du haut Ogooué qui sont tous feldspathiques. Enfin, les gneiss et micaschistes de J. de Brazza se distinguent très nettement de toutes ces formations : ce sont des roches métamorphiques.

En partant de Lastoursville, J. de Brazza s'est avancé vers le nord-ouest, jusque dans le bassin de la Mossaka ; son itinéraire, long de 400 kilomètres environ, se divise, au point de vue géologique, en cinq tronçons à peu près égaux ; le premier traverse les phyllades et les quartzites ; les quatre autres sont dans les grès friables et les sables ; ils sont limités par quatre massifs granitiques et métamorphiques peu étendus. Ainsi à 150 kilomètres environ au nord-ouest de Lastoursville, il existe une bande de quartzite ferrugineux, exploité par les indigènes comme minerai de fer, et compris entre deux massifs de granite ; c'est exactement la disposition que nous avons retrouvée dans l'Okanda, et qui, là, avait échappé à J. de Brazza.

Ceci est un argument fort important en faveur des idées que nous opposons à celle de M. Lenz. Il n'y a pas

de chaine côtière, mais seulement un massif ancien, uniformément ondulé et recouvert de grès horizontaux; sans doute, les terrains métamorphiques et anciens affleurent principalement vers la bordure, par suite de l'érosion; mais, bien loin dans l'intérieur, on en retrouve les arêtes, les parties saillantes émergeant au milieu de l'uniformité des grès et des sables.

Telle est la théorie que nous allons essayer de développer, en décrivant la coupe détaillée de l'Ogooué, du cap Lopez à Franceville.

Coupe détaillée de l'Ogooué jusqu'à Franceville (*).

1. *Du cap Lopez à Njolé. Bas Ogooué.* — Jusqu'à Njolé, mes observations sont peu nombreuses, à cause de la rapidité du voyage; néanmoins avec mes souvenirs personnels, complétés par les indications de M. Lenz et de J. de Brazza, il n'est pas impossible de reconstituer cette partie de la coupe, qui est de beaucoup la plus simple.

Au cap Lopez, la plage est basse, sablonneuse; il ne faut point chercher dans le delta de l'Ogooué les formations tertiaires et crétacées que l'on trouve en d'autres points de la côte; ici, tout a été enlevé par les eaux, et aujourd'hui encore le pays est presque complètement submergé à la saison des pluies. Ainsi les plaines du cap Lopez, renommées pour les grandes chasses à l'éléphant et au buffle, n'offrent au géologue que du sable et de la vase. Le fleuve se déverse dans la mer par trois bras principaux qui se ramifient en une multitude de petits canaux; les berges sont basses et les palétuviers en rendent les limites indécises; tout au plus pourrait-on chercher là des formations saumâtres analogues à celles

(*) Voir Pl. XII, *fig.* 1.

Digitized by Google

de l'Ikoy. Quand on entre dans le lit même du fleuve, on voit apparaître les berges avec plus de netteté, du moins à la saison sèche; elles sont basses, d'un jaune plus ou moins rougeâtre et formées de l'argile que le Dr Lenz a décrite sous le nom de latérite; c'est la seule formation que l'on aperçoive dans l'île d'Achouka, où l'on fait escale.

Vers Lambaréné, les premières collines se dessinent, des blocs de toute espèce, sans doute charriés par le fleuve, annoncent la proximité d'une chaîne ancienne. Le poste est bâti sur la pente d'un coteau isolé au milieu du fleuve, et si l'on s'éloigne à l'intérieur de l'île, en s'élevant sans cesse, de manière à dépasser la zone d'alluvions, on ne tarde pas à rencontrer d'énormes blocs granitiques qui font partie d'un important massif.

Le granite de Lambaréné est, d'après M. Michel Lévy, ingénieur en chef des mines, qui a bien voulu appliquer sa très grande compétence à la détermination rapide de mes roches, le premier exemple des granites de contact que nous rencontrerons si fréquemment dans la suite; la roche est pétrie de débris à moitié dissous des schistes voisins, elle est endomorphe (*). En amont, près de la Mission protestante, on aperçoit des couches très contournées, presque verticales, d'un schiste à mica noir, pénétré de veines de quartz, et que l'on peut attribuer au métamorphisme d'injection d'une roche granulitique; non loin de là, au milieu d'une masse d'argile rouge, on déterrait, lors de notre passage, des blocs d'une roche verdâtre, très décomposée à la surface, formée au centre d'actinote et de trémolite; cette sorte de jade et l'argile qui l'entoure peuvent être considérés comme les deux stades de la décomposition d'une roche amphibolique.

(*) Mica noir, oligoclase, orthose, un peu de microcline. Épidote secondaire.

Voici donc un premier massif d'apparence métamorphique ; nous en retrouverons dans la suite de beaucoup plus nets.

Lambaréné est situé au milieu de la région des lacs, près des deux plus importants d'entr'eux, l'Azingo et le Zonangué. Bien que facilement accessible, le pays est encore mal connu, et il semble impossible d'en dresser la carte, tant l'aspect en est différent, suivant que l'on y voyage à l'une ou à l'autre saison. Du mois d'octobre au mois d'avril, c'est à peine si les sommets émergent, et souvent les villages indigènes sont inondés; à la saison sèche, au contraire, on voit se dessiner des marigots et des lacs, qui ne sont séparés du fleuve que par une digue d'argile peu étendue, sur laquelle reposent des débris de schistes divers; un réseau de canaux permet de parcourir le pays en tout sens. Ainsi l'Ogooué communique avec la grande lagune Nkomi, située au sud, et se déverse en partie par le Fernan Vaz. Quelques kilomètres à peine d'un terrain plat, marécageux, souvent presque entièrement submergé, séparent l'extrémité nord du lac Azingo du fleuve Ramboé qui se déverse dans l'estuaire du Gabon. Aussi, conformément à l'opinion du Dr Lenz, on peut affirmer qu'à une époque relativement récente, le delta de l'Ogooué couvrait une vaste région, de près de 2° d'amplitude; aujourd'hui encore il en est presque de même pendant la saison des pluies.

Au delà de Lambaréné, les rives redeviennent basses et argileuses; tout au plus aperçoit-on, lors de notre premier passage, à la saison sèche, quelques tables de schiste au bord de l'eau; J. de Brazza les a appelées phyllades, et nous savons qu'il désignait sous ce nom des schistes non métamorphiques; ceux-ci ont le même aspect que ceux que nous avons rencontrés à partir de Boué. M. Lenz a signalé aussi des schistes argileux et phylliteux avant le massif cristallin de Njolé, ce qui ne

Digitized by Google

l'empêche pas de déclarer que la chaîne est à un seul côté. Nous nous bornerons pour le moment à constater qu'entre les collines de Lambaréné et celles de Samkita, qui correspondent à deux massifs métamorphiques, se trouve une sorte de cuvette de schistes horizontaux, probablement anciens, mais non métamorphiques.

A Samkita, le sol se relève de nouveau; des rochers émergent à la saison sèche, par exemple celui de Talagouga qui, d'après les pagayeurs Gallois, est la résidence ordinaire du génie du fleuve; mais la navigation ne devient difficile qu'à partir de Njolé. C'est là que s'arrêtent aujourd'hui les bateaux à vapeur; c'est à partir de là que nous avons pu faire une série à peu près continue d'observations.

2. *De Njolé à Lopé. Le pays des Okotas et des Apingis.* — Nous avons rencontré, à Lambaréné, un premier massif métamorphique; le second commence probablement vers Samkita, mais c'est seulement à partir de Njolé que nous avons pu l'étudier. L'île de la Résidence est formée d'une roche grise, à grains fins, sans trace de stratification, mais découpée par trois systèmes de plans de cassures. En face, sur la rive droite, l'emplacement du poste est taillé dans la même roche, décomposée en argile rouge. C'est, d'après M. Michel Lévy, un microgranite dans lequel les grands cristaux de quartz et de feldspaths passent, par dentelure très ramifiée, aux éléments à grains fins; premier terme d'une série très nette de schistes, de quartzites et de roches marneuses métamorphisés par injection ou par simple contact de granite. On retrouve tous les phénomènes si délicats que M. Michel Lévy a décrits pour la première fois à propos des schistes de Saint-Léon, et que nous nous permettrons de rappeler sommairement.

Le magma granitique peut agir de trois façons diffé-

rentes sur les roches qui l'environnent : il peut leur faire subir une sorte de cuisson développant certains minéraux, et cela à des distances dépassant 1 kilomètre (*) ; il peut, au contact, dissoudre les éléments des roches voisines; on verra alors le quartz granulitique et le mica des schistes nager par petits éléments dans les grandes plages constituant l'apport granitique; suivant que les éléments schisteux prédomineront ou non, la roche recevra le nom de schiste feldspathisé par superposition, ou de granite endomorphe ; enfin la matière fondue peut pénétrer entre les feuillets de la roche stratifiée; on verra dans ce cas des bandes alternées d'éléments schisteux, quartz granulitique et mica, et d'éléments granitiques un peu plus gros, quartz, orthose, oligoclase, etc.

Ainsi nous pourrons rencontrer successivement : des schistes chloriteux et séricitenx, non modifiés, formés de grains de quartz brisés et cimentés par des paillettes de séricite et de chlorite; des schistes micacés, produits de métamorphisme des précédents ; leurs grains de quartz ne présentent plus de cassures nettes, mais sont arrondis, ils ont été comme refondus et ont subi parfois un commencement de cristallisation, ils sont entourés de paillettes de mica formées aux dépens de la séricite et de la chlorite; enfin des schistes micacés et feldspathisés dans lesquels il y a eu en outre injection du magma granitique. Cette action ne peut se produire qu'au contact du granite et forme un passage continu de cette roche aux schistes voisins; elle peut prendre l'une des deux formes : superposition (dissolution) ou injection (intercalation).

Les mêmes causes peuvent agir sur des grès et sur

(*) Cette cuisson s'effectue probablement moins par conductibilité que par transport de chaleur ; les vapeurs à haute température émanées de la roche servent de véhicule : dans ce cas, il peut même y avoir une véritable réaction chimique.

Digitized by Google

des quartzites. On verra d'abord les grains de quartz perdre leur apparence clastique et quelques paillettes de mica se former : la roche sera un quartzite micacé; puis au voisinage du contact, elle s'imprégnera de feldspath et deviendra une leptynolite. Enfin, avec des terrains marneux, il y a d'abord formation de minéraux : amphibole, grenat, sphène, etc., puis feldspathisation; ces roches à apparence de schistes amphiboliques n'ont pas de nom spécial; elles rappellent certaines « cornes », bien que celles-ci soient dues généralement à l'action des diabases et non des granites (*).

C'est à partir de Njolé que la série se présente avec le plus de netteté; en même temps commencent les rapides de l'Ogooué et le pays pittoresque des Okotas, zone de gneiss et de micaschistes du Dr Lenz et de J. de Brazza. Le fleuve est obstrué de blocs de rochers aux contours arrondis, d'un gris bleuâtre, qu'une mince couche d'oxyde de fer polie par le sable fait briller au soleil.

Aucune stratification n'est visible à l'œil nu, et cependant tous les blocs se présentent en pointe quand on remonte le fleuve, ce qui indique une forte pente des couches vers l'ouest; cette allure avait frappé le Dr Lenz : il a eu le tort de la généraliser.

Mais ces roches si uniformes d'aspect présentent des compositions variables suivant qu'elles sont plus ou moins éloignées d'un massif granitique. A Njolé même, on est en plein microgranite; puis peu à peu, on passe au schiste feldspathisé, et tandis que la roche du poste était simplement divisée par trois plans de cassures, celles que

(*) Si le métamorphisme s'exerçait sur des roches arkosiennes, déjà feldspathiques, il produirait des schistes feldspathiques et des leptynolites difficiles à distinguer des types précédemment décrits.

l'on rencontre dans le fleuve s'orientent à mesure que l'on s'éloigne : la stratification, encore confuse, se révèle déjà par son effet.

Dès le premier jour de la navigation, à Milanga, nous fûmes surpris de l'abondance des poudingues dans le lit du fleuve ; le Dr Lenz n'avait pas manqué de les signaler au milieu d'une énumération de gneiss, de micaschistes et de schistes cristallins, etc... Il y a là une confusion, à laquelle on n'échappe pas tout d'abord, mais dont il faut bientôt se dégager.

Nous avons déjà parlé de ces formations si fréquentes dans le lit des grands fleuves et qui consistent en des blocs charriés, de toute provenance et de toute grosseur, cimenté par de l'oxyde de fer ; cette sorte de poudingue, qui rappelle le *Dwyka-Conglomerat* du Cap, ne semble point renfermer d'or, et d'ailleurs ne s'étend pas au delà du lit de l'Ogoué ; elle ne fait que masquer le substratum et il faut la négliger dans l'étude stratigraphique du pays.

Une autre formation intéressante de l'Ogoué est constituée par les bancs de sable qui émergent à la saison sèche, et qui offrent alors au voyageur des emplacements fort agréables pour camper. M. Lenz prétend que ces bancs renferment exclusivement du sable, et il s'étonne que, dans ces conditions, l'Ogooué ait déposé dans son delta une telle quantité d'argile. En réalité, les bancs argileux et vaseux ne sont pas rares, même dans le haut fleuve ; et d'ailleurs, n'est-il pas naturel que les premiers éléments déposés soient les plus lourds, les cailloux et le sable, tandis que l'argile, finement divisée, n'est abandonnée que lorsque le courant du fleuve s'atténue, lorsque son lit s'élargit, dans la région des lacs ?

L'île de Djambala, dans laquelle est établi un grand village okota, est formée d'un schiste chloriteux et séri-

citeux; ici le métamorphisme est presque nul, et ne se manifeste que par la forme arrondie des grains de quartz; il n'y a pas eu développement du mica. Mais la feldspathisation réapparait bientôt, dans les schistes qui forment les premiers rapides vraiment difficiles, Alembé et Kondo-Kondo; en même temps on constate de nombreux filons de quartz laiteux, dont la puissance ne dépasse pas quelques centimètres. Enfin, à Mouyabi, on retrouve un microgranite de contact et d'injection, annonçant, en profondeur, la présence d'un nouveau massif granitique.

Bientôt l'aspect des collines change : elles sont moins compactes, plus découpées, moins boisées; à certains moments, on croirait naviguer sur la Meuse. En même temps, la stratification apparait d'une façon nette. Le village d'Yassa est bâti sur des schistes micacés à graphite et à grenat. Le grand rapide Bangania est un vaste plan incliné sur lequel sont entassés des blocs de toute espèce : quartzite micacé à quartz nourri, leptynolite tourmalinifère, schiste micacé grenatifère et tourmalinifère, avec parties encore sériciteuses et chloriteuses; en somme, toutes les variétés de schistes et de quartzites peu métamorphiques. Près de l'ancien poste des Apingis, on passe au schiste micacé franc, et le mica se développant de plus en plus, on arrive à une roche formée entièrement de muscovite et de biotite.

Nous résumerons cette description du pays des Okotas de la façon suivante : autour des deux massifs de microgranite de Njolé et de Mouyabi sont disposés des schistes et des quartzites pendant vers l'est et présentant tous les degrés de métamorphisme; aucun diagnostic d'âge ne peut être encore formulé et l'on peut seulement remarquer que de Njolé aux Apingis, les schistes sont de plus en plus micacés.

Nous donnons à la région qui s'étend entre l'ancien

Digitized by Google

poste des Apingis et la porte de l'Okanda le nom de pays des Apingis parce que cette peuplade, refoulée par les Ossiébas, s'y est réfugiée depuis quelques mois. Cette zone se différencie nettement de la précédente par plusieurs caractères. L'aspect en est variable et elle présente, avec des sommets comme le mont Obombi (500^{m}), des dépressions, de véritables vallées perpendiculaires au cours du fleuve, celle de Lélédi, par exemple ; les couches n'y sont plus régulièrement inclinées vers l'est, comme dans le pays des Okotas, mais plissées et d'une façon très sensible, ce qui explique les mouvements du sol. Enfin la venue granitique apparait clairement pour la première fois depuis Njolé, sous forme de filons, en général peu puissants, de pegmatite.

Un peu en amont de l'ancien poste des Apingis, on voit les couches de schistes micacés et de quartzites, toujours injectées de quartz, se relever peu à peu jusqu'à devenir verticales ; en même temps apparait la pegmatite, d'abord en filons de quelques centimètres de puissance, puis en bancs interstratifiés, qui atteignent dix mètres d'épaisseur ; les éléments de cette roche sont très nettement séparés et à côté de blocs de pegmatite graphique, on peut trouver de beaux minéraux : tourmaline, grenat, mica en grandes feuilles, superbes microclines avec veinules d'albite, etc. La navigation est naturellement difficile et interrompue par de nombreux rapides : entre autres Bengolé et Béka.

Bientôt, on s'aperçoit que les couches, qui d'abord pendaient vers l'est, puis étaient verticales, sont inclinées vers l'ouest, avec une pente de 45° ; on a donc dépassé un premier synclinal, ou du moins une importante cassure ; on traverse un banc de quartzite ferrugineux compris entre deux bancs de granite et l'on arrive au sommet du premier anticlinal, qui correspond au rapide Kendo; ici, le changement de direction des couches

Digitized by

ne pourrait pas s'expliquer par un jeu de failles ; car, au sommet, les schistes micacés sont bien horizontaux : on les voit former le dos d'âne et arriver assez rapidement à une pente de 45° vers l'ouest ; leur direction moyenne est toujours sensiblement nord-sud.

Au delà de la rivière Ningoué, les schistes micacés forment un massif puissant jusqu'à la vallée de Lélédi, qui correspond à un second synclinal ; dans cette partie, la pegmatite est plus rare et on n'en trouve qu'un filon de un mètre ; mais le quartz laiteux est toujours abondant. Près du nouveau village des Apingis est le sommet du second anticlinal, puis les plis deviennent de plus en plus serrés et il nous a été impossible d'en relever le détail ; les couches perdent aussi leur direction régulière nord-sud : on est dans une région très tourmentée, au milieu de laquelle est situé le dur rapide de Bengi.

En vue du mont Obombi, près d'un village Apingi et Bangoué, les schistes prennent une allure plus régulière et finalement pendent encore vers l'est ; au milieu d'eux est interstratifiée une couche d'une sorte de quartzite à amphibole ; à l'œil nu on ne distingue que de grands cristaux noirs au milieu de grains de quartz. Au microscope, on voit un feldspath triclinique noyé dans un flot de quartz granulitique ; en outre, des cristaux polysynthétiques d'amphibole englobent le quartz et le feldspath ; du grenat et du sphène jouent le même rôle. C'est là une de ces roches que nous avons déjà annoncées sous le nom de « cornes » et qui proviennent sans doute du métamorphisme d'un banc marneux.

La région du mont Obombi est formée de couches de schistes micacés et de quartzites qui décrivent un grand synclinal jusqu'au massif granitique de Lopé. Les schistes sont tantôt micacés purs, tantôt micacés et chloriteux, tantôt micacés et feldspathisés, ils renferment en général du grenat et de la tourmaline. Parmi les quartzites, on

trouve encore une sorte de corne renfermant, avec le quartz granulitique, amphibole, grenat et sphène, zoïsite et épidote.

Les collines sont recouvertes jusqu'à leur sommet, d'argile rouge, et parsemées de blocs de quartz blanc, carié, non aurifère, jusqu'à une hauteur d'environ 100 mètres au-dessus du fleuve. Ce fait avait frappé le D^r^ Lenz et nous avons déjà dit l'explication qu'il en a donnée ; on peut la compléter de la façon suivante. Nous avons déjà constaté dans la région la présence de nombreux filons de quartz ; peu à peu détruits, tandis que les schistes qui les entouraient se transformaient en argile, ils ont donné naissance à des blocs de différentes tailles, qui ont ensuite fait partie intégrante du vaste manteau de grès. Émergé vers la fin du trias, le plateau a été peu à peu désagrégé sur ses bords par le ruissellement : les sables et les cailloux ont été entrainés, tandis que les blocs se déposaient à la surface des terrains anciens, plus résistants. Il peut paraître, au premier abord, quelque peu étonnant que le niveau de l'Ogooué ait été jadis si élevé ; mais c'était alors moins un fleuve qu'une nappe d'eau glissant sur le manteau de grès et le corrodant ; puis les eaux se concentrèrent en une seule veine pour franchir la barrière plus résistante et parallèle à la côte qui se dressa devant elles, dès que les terrains anciens furent dégagés ; peu à peu, un chenal fut creusé et la surface du fleuve s'abaissa en même temps que son fond. Quant à l'argile des sommets, qui dépasse de beaucoup le niveau des blocs, il est naturel d'admettre qu'elle s'est formée sur place, par décomposition des schistes micacés.

3. — *De Lopé à Boué. Le pays des Okandais.* — Un peu avant l'Obombi, les phénomènes de métamorphisme augmentent d'intensité : on trouve d'abord un

Digitized by Google

schiste micacé grenatifère à grands micas; puis un schiste feldspathisé passant au microgranite; enfin un schiste micacé, amphibolique et grenatifère, superbe roche, très cristalline, très voisine du contact.

Puis les berges se resserrent, on entre dans une étroite gorge, dont les parois sont taillées presque à pic et au milieu de laquelle s'élève la roche fétiche, qui, comme celle de Talagouga, protège le passage; la majesté du paysage annonce que l'on pénètre dans une région granitique et l'on s'arrête dans le bassin de Lopé, où commencent des difficultés nouvelles. Le plateau de l'Okanda est constitué par un banc de quartzite métamorphique compris entre deux massifs de granite : l'ensemble offre une barrière très résistante aux eaux, qui ont peine à y découper un étroit chenal, extrêmement tortueux; le courant est rapide et les pirogues mettent deux jours et demi à franchir ce « canal de Lopé », long de quelques kilomètres; les chavirages y sont encore plus fréquents que partout ailleurs, et l'Européen aime mieux faire la route à pied, à travers un pays d'ailleurs presque plat.

Le massif granitique de Lopé a environ 5 kilomètres de largeur; la roche est pauvre en mica, pegmatoïde et dynamométamorphique, du moins sur ses bords (*); ce dernier caractère peut s'expliquer soit par un phénomène orogénique postérieur, soit par la simple intrusion d'une telle masse déjà presque solidifiée, au milieu des schistes voisins. Ensuite vient un banc de quartzite de 3 kilomètres de puissance (l'itabirite de M. Lenz), dirigé nord-sud et incliné vers l'ouest; tandis que la partie centrale est presque exclusivement quartzeuse, le métamorphisme a développé sur les bords du fer oxydulé et de l'oligiste :

(*) Mica noir, oligoclase, orthose, quartz. Séricite et chlorite secondaires.

Les feldspaths sont tordus et les quartz moirés.

l'ensemble est tout à fait comparable au gisement de Diélette, en France.

Au delà, s'étend un nouveau massif granitique, de 7 kilomètres ; près de la ligne de contact avec le quartzite, les éléments quartz et feldspath sont souvent séparés en gros blocs homogènes. La roche centrale est un granite à amphibole (*). Le village de Mangi est placé vers la limite de ce massif et c'est là qu'on s'embarque de nouveau ; en même temps apparait, sur une petite étendue, une formation nouvelle. C'est une roche presque exclusivement siliceuse, intermédiaire entre le phtanite et le quartzite ; certaines parties sont constituées en quartzite pur, tandis que d'autres sont envahies par la calcédoine ; les différentes variétés présentent une analogie frappante avec les phtanites si fréquents dans le silurien de la Bretagne. Nous n'avons pu observer le contact avec le granite.

Non loin de là, vers le confluent de l'Ofoué, commence une importante série de schistes et d'arkoses ; les arkoses sont à ciment siliceux et, par places, calcaire ; les schistes sont argileux, un peu sériciteux, nullement métamorphiques ; l'ensemble forme une vaste cuvette dont la bordure orientale est presque verticale et s'appuie contre le massif granitique de Boué. Sur les tranches redressées de ces couches repose, en discordance, une arkose à gros éléments, formant dans le lit de fleuve, des dalles horizontales. Près de Boué, les blocs de phtanite redeviennent nombreux.

En résumé, le pays des Okandais est divisé en deux parties par les trois massifs granitiques de Lopé, de Mangi et de Boué. Entre les deux premiers, fort rappro-

(*) Mica noir, sphène, amphibole, apatite, oligoclase, orthose, microcline, fer titané avec enduit de sphène. Épidote secondaire.

Digitized by

chés, est compris un banc de quartzite ferrugineux métamorphisé ; entre les deux derniers s'étend une cuvette de terrains non métamorphiques, et dans lesquels on peut distinguer deux étages : à la base, des phtanites ; au-dessus, des schistes et des arkoses calcaires.

4. *De Boué à Lastoursville. Le pays des Ossiébas.* — Le poste de Boué, bâti au sommet d'une colline escarpée, domine la chute du même nom ; celle-ci est constituée par un massif granitique formant barrage : la différence de niveau entre les deux biefs est d'environ 10 mètres ; c'est avec le rapide Bangania, le canal de Lopé et la chute de Doumé, l'un des points les plus difficiles à franchir dans la navigation de l'Ogooué ; mais, en revanche, le spectacle en est grandiose.

Le massif de Boué est constitué par un granite pegmatoïde, syénitique, amphibolique par places, mais très pauvre en quartz et en mica : c'est presque du feldspath compact ; à la limite ouest, on trouve une sorte de brèche feldspathique à ciment chloriteux et, par places, calcaire, et enfin l'arkose à gros éléments, en dalles horizontales, dont nous avons déjà parlé ; le passage du granite à cette roche est ainsi presque continu.

Au delà de Boué, la navigation devient relativement facile, les rives sont basses et laissent voir des affleurements de phtanites légèrement ondulés. Le fleuve est divisé en un certain nombre de biefs navigables par des barrages peu étendus de granite formant autant de rapides (Bouno, Bangania, etc.). Les blocs de phtanite sont extrêmement nombreux au confluent de tous les ruisseaux et démontrent l'importance de la formation à l'intérieur du pays : J. de Brazza, qui a fait des excursions autour de Boué, a indiqué ce fait sur sa carte.

On arrive ainsi au confluent de l'Ivindo, où l'Ogooué change de direction. Les couches sont toujours hori-

zontales, et, au milieu des phtanites s'intercalent des schistes. La chute de l'Ivindo, située à quelques kilomètres du confluent, est semblable à celle de Boué et, comme elle, formée d'un granite pegmatoïde, mais plus riche en quartz.

Au delà, l'Ogooué présente le même aspect qu'avant Samkita et Njolé; plus de collines, mais seulement des rives basses avec quelques affleurements de schistes et de phtanites, et nous avons déjà signalé l'identité des deux formations géologiques. Ici, d'ailleurs, l'horizontalité absolue des couches peut bien n'être qu'une apparence; car, entre Boundgi, que nous rencontrerons bientôt, et le confluent de l'Ivindo, le fleuve a une véritable vallée : il coule au fond d'un synclinal, mais, à droite et à gauche, les couches peuvent bien être inclinées.

La monotonie est interrompue par quelques petits massifs granitiques, et aussi par les coups de feu dont les Ossiébas inhospitaliers, qui déjà contrarièrent tant le Dr Lenz, saluent la nouvelle mission géologique; les craintifs Adoumas font voler les pirogues sur le fleuve majestueux.

5. *De Boundgi à Doumé. Le pays des Adoumas.* — De Ndambo à Lastoursville, on décrit un demi-cercle ouvert vers le nord, et de Lastoursville à Doumé une ligne droite orientée ouest-est; ce nouveau changement dans la direction du fleuve est probablement dû au massif résistant de Boundgi.

A Ndambo, premier village Adouma, on retrouve le granite qui forme jusqu'au delà de Boundgi un important massif, fécond en rapides; puis, sur la rive droite, s'étend la plaine, tandis que, sur la rive gauche, on aperçoit des escarpements dolomitiques; à Machoco et à Domba, nouveaux massifs granitiques, puis schistes horizontaux; enfin, en arrivant à Lastoursville, on voit jusqu'à la

Digitized by Google

petite rivière Lipopa (rive gauche) des affleurements dolomitiques reposant sur le granite. Le poste lui-même, situé en amont de la Lipopa, est bâti sur un un plateau de grès.

Un premier fait essentiel, c'est que la dolomie, qui semble reposer sur le granite, est, en réalité, métamorphisée par lui. Le contact, extrêmement net, présente, d'un côté, la dolomie plus largement cristallisée, de l'autre de l'orthose au milieu de grands cristaux de dolomie; le quartz et le mica font presque complètement défaut et on ne doit point s'en étonner, car le granite de Boundgi, comme celui de Boué, est syénitique.

Quant à la disposition des couches au-dessus du granite, elle est révélée par la coupe de la Lipopa. Sur la rive gauche de ce ruisseau apparait, en effet, au sommet d'un éboulis d'une hauteur de 100 mètres environ, une sorte de promenoir surmonté d'une muraille à pic qui s'élève à une hauteur double. La coupe complète comprend, à la base, un banc de 100 mètres de dolomie compacte, sans stratification, avec éponges de calcédoine; puis cinq couches de schiste alternant avec quatre couches de dolomie; le schiste est noir, ampéliteux, à moitié décomposé, la dolomie est aussi ampéliteuse et renferme de gros grains de quartz; ces neuf couches ont toutes moins de 1 mètre de puissance; enfin, un second banc très puissant de dolomie compacte, riche en pyrite, sillonnée de filonnets de calcite.

Toutes ces couches sont absolument horizontales; la décomposition lente des schistes a formé, au-dessus des éboulis, le promenoir haut de quelques mètres et orné de stalactites.

De l'autre côté de la faille, on ne trouve, au fond même de la Lipopa, qu'un grès dolomitique d'un blanc jaunâtre qui forme la colline sur laquelle est bâti le poste; au delà de ce grès que la faille a amené au

niveau du fleuve sur une faible étendue seulement, réapparait la formation dolomitique, caractérisée par des schistes siliceux et dolomitiques à ciment argileux, hématiteux et charbonneux, avec pente légère vers l'ouest; puis de nouveau les phtanites qui forment la chute de Doumé.

Au milieu de ces roches sédimentaires se dresse le massif granitique de Mbomo.

Certains phtanites de la série présentent de nombreux cristaux de pyrite et de magnétite, des calcédoines zonées, et, détail plus caractéristique, de la dolomie; chez certains autres, ce minéral a été dissous et remplacé par de la silice, de sorte que l'on aperçoit encore au microscope, des dessins rhomboédriques au milieu d'une masse homogène. Comme nous l'a fait remarquer M. Cayeux, préparateur de géologie à l'École des mines, cela constitue une analogie de plus entre les phtanites de l'Ogooué et ceux de la Bretagne.

6. *De Doumé à Franceville. Le pays des Batékés.* — Au delà de Doumé, le pays présente le même aspect qu'avant Boundgi et la direction du fleuve est de nouveau nord-nord-ouest. Le formation de schistes ampéliteux et de phtanites s'étale le long des berges, mais une roche nouvelle apparait bientôt, près du village Bakota de Coumbi : c'est la diabase (*) qui forme un certain nombre de massifs au milieu des roches stratifiées. Les rapides Bouy (**) et Léboka (***) sont aussi des pointements de diabase.

Près du confluent de la rivière Likabo, les phtanites font place momentanément à des roches grises, com-

(*) Diabase à olivine et à bytownite, partiellement en micropegmatite.

(**) Diabase andésitique ouralitisée.

(***) Diabase ophitique à base andésitique, passant à la micropegmatite.

pactes, qui rappellent celles de l'Ofoué; ce sont en effet des arkoses à éléments fins, parfois micacées et oligistifères, leur ciment est également calcaire; elles sont horizontales, divisées en dalles, et forment plusieurs rapides dont le plus dangereux est celui de Mopoko.

Les schistes et les phtanites apparaissent par places, au lieu des arkoses, mais maintenant ils sont nettement ondulés; ainsi, avant le confluent du Lékéli, ils forment un anticlinal; puis, au delà du rapide du même nom, qui est constitué par des arkoses, un synclinal; au delà du Liboumbi, ils ont une pente ouest très accusée, etc. Nous avons déjà fait remarquer que s'ils paraissaient ailleurs absolument horizontaux, c'est que le fleuve suivait un synclinal.

En divers points, on aperçoit des massifs rocheux de diabase ou de granite, ou peut-être simplement d'arkose compacte : il faudrait passer là des mois pour relever le détail des formations et, dans cette partie relativement facile, nous avons dû nous borner à saisir les éléments caractéristiques.

Le poste de Franceville est bâti sur une colline au bord de la Passa; le plateau est formé d'argile jaune, avec intercalation de couches de limonite manganésifère; mais, sur le chemin qui conduit à l'embarcadère, on trouve des débris d'une sorte de schiste rougeâtre, seul équivalent que nous ayons rencontré des grès et psammites rouges si développés vers le sud, autour de Brazzaville.

A quelques kilomètres vers l'est, l'aspect du pays change complètement; schistes et phtanites, arkoses et psammite disparaissent, et l'on ne trouve plus que des grès blancs, grossiers à la base et pétris de galets, puis de plus en plus fins et surmontés par des dunes de sable qui atteignent parfois 200 mètres de haut : c'est le pays des Batékés.

Résumé. — Ainsi finit la coupe commencée au cap Lopez ; il faut maintenant la résumer, en indiquant l'extension des diverses formations constatées.

1) Delta du cap Lopez. Région saumâtre . . . . 40^{km}

2) Jusqu'à Lambaréné. Latérite . . . . 160^{km}

3) Massif granitique et métamorphique de Lambaréné. 2 ou 3^{km}

4) Latérite. . . . . 30^{km}

5) Schistes (et phtanites) horizontaux. . . . . 30^{km}(?)

6) De Samkita (?) et de Njolé à l'ancien poste des Apingis. Massif métamorphique peu micacé. Direction N.-S. ; pente E. Nombreux filons de quartz . . . . 70^{km}

7) De l'ancien poste des Apingis au Lélédi. Mêmes roches, plus micacées, filons de pegmatite interstratifiés, filons de quartz. Couches ondulées, même direction . . . . 20^{km}

8) Du Lélédi à Lopé. Mêmes couches, sans pegmatite ; filons de quartz ; le métamorphisme s'accentue de plus en plus jusqu'à Lopé. . . . . 30^{km}

9) Okanda. Granite pegmatoïde. . . . . 5^{km}
Quartzite oligistifère 3
Granite à amphibole 7
} 15^{km}

10) Cuvette comprenant des phtanites à la base et audessus des schistes et des arkoses à ciment calcaire. Pas de filons de quartz. Arkose discordante de Boué. 20^{km}

11) De Boué à Lastoursville. Schistes et phtanites ; massifs de granite pegmatoïde et syénitique. Près de Lastoursville, la série des phtanites se complète par des dolomies et des schistes ampéliteux. . . . . 120^{km}

12) Faille de la Lipopa, faisant disparaître en profondeur la dolomie et les phtanites. Grès dolomitiques jusqu'au massif granitique de Mbomo. 20^{km}

13) Roches dolomitiques passant aux phtanites. Schistes et phtanites. Diabase . . . . 80^{km}

14) Arkoses à ciment calcaire alternant avec les schistes et phtanites ondulés. Diabase et granite (?). . . 70^{km}

15) Psammite rouge de Franceville.

16) Au delà de Franceville, puissante formation de grès blanc, dunes de sable.

En laissant de côté la zone littorale, d'importance secondaire, nous voyons donc, entre deux massifs métamorphiques dont le second est de beaucoup le plus puissant (Lambaréné et l'Okota), une première cuvette de phtanites et de schistes; ces couches reparaissent, beaucoup plus développées de l'autre côté du second massif, et se complètent là par des dolomies; elles sont surmontées par des schistes et par des arkoses à ciment calcaire qui apparaissent une première fois dans la cuvette de l'Ofoué, puis en divers points du haut Ogooué. Enfin, les formations les plus récentes sont le psammite de Franceville et les grès blancs des Batékés; il parait logique de rapporter à la même période géologique, d'ailleurs fort étendue (*), le grès dolomitique de Lastoursville et l'arkose discordante de Boué, d'extensions très limitées.

Les grès blancs sont toujours horizontaux; de même leurs deux variétés locales de Boué et de Lastoursville. Au contraire les schistes argileux et les arkoses compactes à ciment calcaire, les schistes ampéliteux et les phtanites apparaissent plissés ou tout au moins ondulés partout où le fleuve ne suit pas un synclinal; un de nos échantillons de phtanite présente même des traces manifestes de dynamométamorphisme. Les terrains métamorphiques sont encore plus énergiquement plissés et leurs granites sont souvent très dynamométamorphiques. Nous avons vu que les dolomies ont été attaquées par le granite, et l'on pressent que les schistes et phtanites n'ont pas échappé à son action : cela sera mis en évidence plus loin. Au contraire, les arkoses se sont nécessairement formées après une importante venue granitique, et il ne semble pas qu'elles aient été modifiées par des venues postérieures (**). Par ces deux

(*) Du sommet du carbonifère au sommet du trias, au moins.

(**) Il est infiniment probable qu'il y a eu plusieurs venues granitiques; mais dans l'état actuel de nos connaissances, le

Digitized by Google

caractères essentiels, plissement et métamorphisme, les terrains de l'Ogooué peuvent donc se grouper en trois systèmes principaux :

I. Antérieurs à la principale venue granitique et au plissement principal : tous les terrains métamorphiques; les schistes chloriteux, les schistes ampéliteux, phtanites et dolomies.

II. Antérieurs au plissement, mais postérieurs à la venue granitique : les schistes argileux et arkoses compactes à ciment calcaire.

III. Postérieurs au plissement : le psammite de Franceville, les grès des Batékés, le grès dolomitique de Lastoursville et l'arkose discordante de Boué.

Les rapides et la prétendue chaîne côtière. — Les rapides de l'Ogooué, qui sont d'un si puissant intérêt pour les voyageurs, sont également dignes d'attirer l'attention des géologues. Par leur étude détaillée, on peut se faire une idée exacte de cette prétendue chaine côtière qui arrête nos fleuves congolais à quelques centaines de kilomètres de la côte. Ils appartiennent à deux genres absolument distincts.

Quand l'Ogooué est arrêté par un massif granitique ou par une arête schisteuse, il longe pendant quelque temps cette barrière, puis il la franchit brusquement et normalement; il en résulte deux directions favorisées : celle des synclinaux (environ N. 20° O.) et la direction perpendiculaire, qui correspond à l'effort maximum des eaux et à la résistance minimum de l'obstacle; la première prédomine jusqu'au confluent de l'Ivindo et la direction moyenne est N. 30° O.; la seconde devient la plus importante dans la traversée de la zone métamor-

nombre des niveaux distincts est si faible, leur étendue dans le temps si considérable, qu'on peut, dans cette première approximation, ne considérer que la venue la plus importante.

phique, à cause de la fréquence des accidents : la direction moyenne est alors E.-O.

Ce premier genre de rapide présente lui-même plusieurs variétés. Dans la zone des schistes métamorphiques plissés, les difficultés sont, pour ainsi dire, continuelles : le fleuve est, à partir de Njolé, obstrué de rochers qui apparaissent de plus en plus serrés, à mesure que l'on s'éloigne de la côte ; à la saison sèche, il se divise en plusieurs canaux étroits, entre lesquels le pagayeur doit faire un choix ; à la saison des pluies, il recouvre la plupart des roches, mais l'inégalité de son fond produit des tourbillons et des barres. Bangania est le type le plus caractéristique de cette variété.

Les difficultés sont encore exagérées dans la traversée d'un massif de granite étendu, comme ceux de Lopé et de Boundgi, parce que le lit y est plus resserré, plus tortueux, et le courant plus rapide. Les parties qui correspondent à ces deux premières variétés sont absolument inutilisables pour d'autres embarcations que les pirogues.

Au contraire, quand le granite se présente en massifs peu étendus, au milieu de terrains peu ondulés, il y a formation de biefs navigables, entre des chutes plus ou moins difficiles à franchir : tel est le tronçon qui s'étend entre Boué et Boundgi, et dont on pourrait tirer parti, moyennant quelques dérochements.

Le second genre apparaît seulement dans le haut Ogooué, là où les couches de phtanite et d'arkose sont presque horizontales. Alors, le fleuve est large, peu profond, et il glisse de table en table : le passage des seuils est relativement facile dans le cas ordinaire, quand la différence des niveaux n'est que de quelques centimètres ; mais Doumé et Mopoko sont aussi dangereux que les rapides de l'Okota. L'utilisation du haut Ogooué présenterait donc de grandes difficultés : il faudrait le

Digitized by Google

plus souvent y creuser un chenal sur une étendue considérable, à cause de l'horizontalité des couches.

Ce dernier type de rapide est celui qui donne l'idée la plus exacte de ce que furent les fleuves africains dans cette zone montagneuse, avant le creusement de leur lit actuel : de larges nappes d'eau, glissant sur une surface presque horizontale, en corrodant peu à peu les bords et descendent à l'Océan par gradins ; mais par l'usure des grès friables, ils arrivèrent à des terrains plus résistants, à des arkoses, à des phtanites, à des schistes métamorphiques, à des granites présentant une série de barrières parallèles à la côte ; aussi les voit-on suivre volontiers cette direction sur une longueur parfois considérable, jusqu'à ce qu'un obstacle local les oblige à se dévier et à se précipiter résolument vers l'Océan.

Quand on pénètre à l'intérieur de l'Afrique en remontant l'Ogooué ou le Congo, on s'imagine d'abord franchir une chaîne de montagnes, puis retrouver la plaine : c'est une pure illusion, puisque l'altitude des points culminants de la prétendue chaîne côtière est comparable à celle des plateaux. Ainsi les plus hauts sommets qui entourent l'Ogooué dans la région des rapides atteignent à peine 500 à 600 mètres, tandis que chez les Batékés, on peut dépasser 800 mètres. De même le sommet le plus élevé de la ligne de partage des eaux entre les bassins du Niari et du Congo est à la cote 780, tandis que dans le bassin de l'Alima, on arrive à la cote 825, en plein sable.

Nous verrons qu'il n'en est pas de même pour les monts de Cristal, dont les plus hauts sommets ont sans doute toujours émergé au milieu des grès ; mais aussi n'ont-ils laissé passer aucun fleuve important.

Coupe de Franceville à Njolé (*). — En étudiant une

(*) Voir Pl. XII, *fig.* 2.

Digitized by Google

voie de communication directe entre le dernier poste de l'Ogooué et le point où ce fleuve devient navigable, j'ai obtenu une seconde coupe ayant les mêmes extrémités que la première et distante, en son milieu, d'une centaine de kilomètres. On peut ainsi étendre à l'intérieur du pays, les zones déterminées dans le lit de l'Ogooué; l'apparence est singulièrement différente; mais, le premier étonnement passé, les idées sur la constitution du sol deviennent beaucoup plus nettes par le contraste des deux aspects.

En partant du poste de Franceville, on marche sur une succession de collines peu boisées, argileuses, semées de graviers rouges, débris de psammites; dans les bas-fonds on retrouve des blocs d'arkose et de phtanite; ainsi les rapides du Liboumbi sont formés de cette roche. Mais quand on s'éloigne de la cuvette creusée par l'Ogooué et par les affluents Passa et Liboumbi autour de leurs points de jonction, on s'élève assez rapidement sur un plateau, arrosé de cours d'eau moins importants, où l'érosion a été plus discrète, et dont les tables de grès font vis-à-vis à celles des Batékés; le bassin du Lékéli s'étale au milieu de ces grès.

Le rocher de Mouenda (Aouandgis) est caractéristique : des bancs de grès horizontaux, d'un mètre de puissance, sont légèrement en retrait les uns sur les autres; en certains points la muraille est à pic; ailleurs, une sorte d'escalier de géants conduit à l'important village bâti sur le sommet; à la base, le grès est grossier, c'est presque un poudingue, à galets de quartz blanc; à mesure qu'on s'élève, on voit le grain devenir plus fin. La roche a été isolée de toutes parts par l'érosion, et en aucun point n'affleurent les roches anciennes. Si on regarde en même temps la partie correspondante de l'Ogooué, on voit une sorte de dépression, où n'affleurent que des grès et de la latérite; les terrains anciens for-

Digitized by Google

ment donc, au-dessous de la vallée du Lékéli, une cuvette dont l'axe est dirigé nord-nord-ouest.

A la limite de ce bassin affleurent, au contraire, des roches cristallines : c'est d'abord un granite pegmatoïde à microcline; puis, dans le bassin du Léyou, une amphibolite avec sphène, type amphibolique de gneiss à gros grains; enfin à Anguélé (Bangoués) un granite pegmatoïde dynamométamorphique : ce sont les sommets d'un massif ancien; et, chose singulière, on trouve ici une roche franchement cristallophyllienne, l'amphibolite, alors que cette série fait complètement défaut dans l'Ogooué. Les grès blancs prédominent toujours de beaucoup et forment les monts Samenamenga, sur les flancs desquels on trouve de loin en loin des débris de granite et de gneiss.

Au village d'Aléno (Oungomo), les tables horizontales de grès blancs qui s'élèvent, comme à Mouenda, à une centaine de mètres au-dessus du niveau de la vallée, sont tranchées par une cassure verticale large de 3 mètres, dont les parois sont tapissées d'un minerais ferrugineux concrétionné; il n'y a pas eu déplacement relatif des bords de la faille; le fond est rempli par une venue de diabase ophitique, qui, entre les deux murailles de grès, forme jusqu'au village, situé au sommet, un escalier, plus étrange encore que celui de Mouenda. Le prolongement du filon irait passer par le massif de Léboka, déjà signalé dans l'Ogooué. Ainsi, il est établi que la venue diabasique est postérieure aux couches les plus récentes du plateau africain : de même, au Cap, la diabase perce toutes les couches du Karoo.

Du bassin du Leyou, on passe dans celui du Lébiou, affluent très important du Lolo, et sur une trentaine de kilomètres, on ne voit plus que du grès blanc; puis, le niveau du sol s'abaissant encore, on retrouve, à peu près au sud de Lastoursville, des affleurements de granite

Digitized by Google

et de gneiss. Ici, comme dans le bassin du Leyou, il semble que le substratum soit vraiment cristallophyllien, ou du moins au maximum de métamorphisme (*). Les couches d'argile qui recouvrent le pays empêchent malheureusement de saisir le détail des phénomènes; néanmoins, en aucun point de la région, nous n'avons rencontré les degrés intermédiaires, les schistes micacés et feldspathisés si abondants dans l'Ogooué. Au contraire, sur la rive gauche du Lolo, apparaissent des microgranites et des granites pegmatoïdes de contact présentant avec les roches de l'Ogooué une grande analogie. En somme, ce second massif cristallin, cristallophyllien et métamorphique a une étendue de près de 100 kilomètres et est traversé par les cours d'eau suivants :

Lébiou et Ouenguédi, affluent de droite du Lolo;
Lolo, affluent de l'Ogooué;
Ouaya, affluent de gauche du Lolo;
Ouanga, affluent de droite de l'Ofoué.

Puis ces roches disparaissent complètement jusqu'au pays des Okotas. Dans le bassin du Ouaya, des débris de phtanites commencent à se mêler aux blocs de granite et de grès; ils deviennent prédominants dès qu'on a passé l'Ofoué; en même temps, le pays change d'aspect. La forêt équatoriale, qui avait commencé un peu après la roche de Mouenda, s'interrompt sur une étendue d'environ 40 kilomètres, au sud du pays des Okandais. On marche alors sur des plateaux gazonnés, semés de blocs de phtanite et au milieu desquels s'élèvent des pics coniques isolés.

(*) La distinction entre les gneiss, micaschistes, amphibolites et les terrains métamorphiques devient d'ailleurs de plus en plus subtile et bien des géologues penchent vers l'identité d'origine.

Nous avons fait l'ascension du plus élevé d'entre eux, le mont Désousa (800 mètres); il se compose de deux pics accolés, de hauteurs inégales. Le premier présente des éboulis de phtanite et de grès oligistifère dont quelques éléments ont la même structure microscopique que les phtanites sous-jacents. La base du second pic est formée des mêmes roches; mais au sommet apparaissent en outre des bancs de grès horizontaux, grès grossier à séricite et à oligiste; au-dessus s'étend la latérite. En aucun point, on n'aperçoit de plissements, et les pics ont été façonnés uniquement par l'érosion.

Dans le bassin du Lélédi, on retrouve la zone de schistes micacés grenatifères correspondant à celle de l'Obombi; les filons de quartz sont nombreux, ainsi que les bancs de granite ou de pegmatite interstratifiés. La suite, naturellement discontinue des observations, indique que les couches sont diversement inclinées et ont une direction générale N. 20° O.

A la limite du bassin du Ningoué, apparaissent des roches moins nettement stratifiées, microgranites et granites de contact, et dans l'Abamié, le granite et une leptynolite à oligiste très métamorphique. Toute cette région est extrêmement tourmentée et très pittoresque; elle correspond bien au pays des Okotas. A quelques kilomètres au sud de Njolé, les accidents de terrain deviennent moins fréquents, et le cours des rivières est plus régulier. Près du village de Foula (Ossiébas), on rencontre enfin des schistes non métamorphiques et des phtanites, qui marquent la limite de la zone métamorphique.

Ainsi, nous voyons cette formation de schistes ampéliteux et de phtanites s'étendre entre les massifs cristallins de Lambaréné et de Samkita, et au contact de celui de Njolé; de même, ce sont les premières roches sédimentaires que nous ayons rencontrées dans l'Okanda; enfin

Digitized by Google

les dolomies de Lastoursville, qui font partie du même système sont elles-mêmes au contact du granite.

Cet ensemble de roches constitue, avec les schistes chloriteux purs, antérieurs et rares, les deux niveaux sédimentaires les plus anciens, les seuls atteints par le métamorphisme.

Une formation comprenant au début des schistes argileux, plus ou moins sériciteux et charbonneux, des quartzites plus ou moins ferrugineux et dolomitiques et des dolomies franches, prendra, suivant qu'elle sera soumise à l'action du granite ou à la circulation des sources, deux aspects bien différents. Dans le premier cas, on aura des schistes micacés et feldspathisés, parfois graphiteux, des quartzites micacés et oligistifères, des leptynolites; les quartzites dolomitiques donneront ces quartzites à amphibole que nous avons décrits sous le nom de *cornes;* sur les dolomies franches, l'action sera très limitée à cause de la compacité de la roche.

Au contraire, s'il y a simple circulation d'eau siliceuse, les schistes seront peu à peu décomposés en argile, tandis que les quartzites, envahis par l'opale, passeront au phtanite; les cristaux de dolomie, nombreux dans certaines de ces roches, seront remplacés eux-mêmes par la silice, mais l'apparence de leurs contours persistera; dans ce cas encore, les dolomies compactes subiront le moins de changements.

L'absence complète de fossiles et même d'organismes microscopiques ne permet point de fixer avec précision l'âge de cette formation. Par analogie avec les phtanites de Bretagne, nous sommes tentés de la rapporter au silurien, les schistes chloriteux étant naturellement considérés comme les représentants de l'étage précambrien. Les schistes argileux et les arkoses compactes à ciment calcaire pourraient alors représenter le dévonien, tandis que tous les grès horizontaux et friables seraient du per-

motrias. Nous verrons que ces hypothèses ne sont pas en contradiction avec les observations faites en d'autres points de notre colonie : c'est la seule satisfaction que l'on soit en droit d'exiger dans l'état actuel de la question.

CHAPITRE V.

LE CONGO.

A la description que nous venons de donner du bassin de l'Ogooué, il faut maintenant opposer la coupe du Congo, telle qu'elle résulte des travaux de MM. Pechuel-Lœsche, Zboïnski et Dupont; par là, on verra clairement combien l'hypothèse du Dr Lenz sur la continuité de la chaine côtière était exagérée.

Travaux de M. Pechuel-Lœsche. — M. Pechuel-Lœsche établit d'une façon très nette l'existence de trois zones entre la côte et le Stanley-Pool :

1) De Banane à Boma, zone littorale, alluvions ;

2) De Boma à Kaloubou, couches pendant vers le sud-ouest, avec des inclinaisons différentes. Cette zone se subdivise elle-même en deux autres :

2′) De Boma à Issanguila, schistes cristallins ;

2″) D'Issanguila à Kaloubou, roches clastiques ;

3) A partir de Kaloubou, vers l'intérieur, couches presque horizontales.

En allant de la Roche fétiche de Boma vers le nord-est, le géologue allemand trouve successivement des micaschistes, des gneiss à hornblende et des quartzites, les deux premières formations étant de beaucoup les plus importantes : les couches sont orientées du sud-est au nord-ouest et ont une pente de 30° environ vers le sud-ouest. A Issanguila, un banc de diabase barre le fleuve ;

la roche, divisée en carreaux par des crevasses, est recouverte, sur la rive droite, par des blocs d'une grauwacke foncée ; c'est là que commencent les schistes argileux, plus ou moins calcaires, qui s'étendent jusqu'à Kaloubou ; ils paraissent concordants avec les schistes cristallins et souvent ils présentent en outre une schistosité transversale. En divers points, on rencontre des blocs de marbre et de grauwacke.

A Kaloubou commencent les grès, qui prennent, à plusieurs kilomètres à l'est de cette limite, une pente opposée à celle de la région cristalline ; puis les couches deviennent horizontales jusqu'au Stanley-Pool.

L'expédition Tuckey avait déjà signalé le granite de la Roche fétiche (Boma) ; pour le D[r] Pechuel-Lœsche, c'est un gneiss granitoïde.

Travaux de M. Zboïnski. — M. le commandant Zboïnski subdivise la première zone en trois autres :

1′) Zone littorale proprement dite ; falaise de 20 mètres au bord de la mer, à faune d'estuaire quaternaire ou moderne, produit d'un relèvement peu ancien de la côte ;

1″) Zone d'estuaire, sur les rives du Congo, jusqu'à Boma ;

1‴) Zone sublittorale (tertiaire ?) entre la zone littorale proprement dite et celle des terrains cristallins.

Entre Boma et Issanguila, il distingue de même des quartzites à tourmaline, de Boma à Vivi et des micaschistes de Vivi à Issanguila (*). A Vivi, un escarpement de 286 mètres constitue la montagne Léopold, traversée par un filon de magnétite de $0^m,40$ de puissance ; à

(*) Mais l'énumération de ces micaschistes comprend : grès blanc micacé, schistes micacés blancs et rougeâtres, schistes micacés clairs. Il faut donc remplacer le terme micaschiste par celui de schistes micacés.

Digitized by Google

Issanguila, au contraire, les bancs sont presque horizontaux.

La troisième zone (2″ de M. Pechuel-Lœsche) comprend des quartzites et des quartzophyllades (ardoises) en strates horizontales, des calcaires siliceux et des calcschistes.

A partir de Manianga s'étendent les grès et les schistes rouges.

Travaux de M. Dupont. — M. Dupont, dépassant le Stanley-Pool, est allé jusqu'au confluent du Kassaï; il rétablit dans leur intégrité les trois zones de M. Pechuel-Lœsche. De la côte à Boma, il rencontre trois formations distinctes :

1° Des roches cohérentes, grès analogues à ceux d'Élobi et largement ondulés ;

2° Un calcaire fossilifère miocène non corallien ;

3° Le sable et l'argile.

M. Dupont donne peu de détails sur ces formations ; il signale le calcaire fossilifère en un seul point, Kaïcolou Sanga, et n'énumère pas les fossiles qui permettent de le rapporter au miocène ; quant au grès, on peut en faire, soit l'équivalent des couches d'Élobi, soit la partie supérieure du Karoo.

La seconde région est constituée par une chaine de montagnes arasées, sans sommet bien proéminent, par des plateaux analogues aux Ardennes, au Hartz, aux Vosges, à la Bretagne. En allant de l'ouest à l'est, on rencontre successivement :

1° De la Roche fétiche à Mossouk, des gneiss et micaschistes pendant vers l'ouest, avec intercalation de six bandes de granite et de granulite (*) ;

(*) M. Dupont sigale la fréquence dans ces gneiss et micaschistes de la tourmaline et du grenat; ce sont ces mêmes roches

2° De Mossouk à Ngoma, des micaschistes, des quartzites, des poudingues et enfin des gneiss amphiboliques prédominants à partir de Vivi. Ces couches, comme les précédentes, sont inclinées vers l'ouest et traversées de nombreux filons de quartz laiteux. M. Dupont voit dans cet ensemble le terrain primitif renversé ;

3° A Ngoma, il y a discordance, et l'on voit apparaître des couches qui se continuent jusqu'au Long Reach et qui sont interrompues en leur milieu par le massif de diabase d'Issanguila ; de sorte que la coupe entre Ngoma et le Long Reach présente successivement : un poudingue, des phyllades (schistes verts satinés), des quartzites, — la diabase d'Issanguila, — puis de nouveau le poudingue, les phyllades et les quartzites ; enfin des schistes gris. Cette série est encore traversée de nombreux filons de quartz.

4° Du Long Reach aux rapides de Tchoumbou s'étend une nouvelle formation, discordante avec la précédente : c'est une série de calcaires et de schistes alternés et fortement plissés, analogue à celle du Condroz. Ainsi, on y rencontre, d'après M. Dupont, des marbres, des calcaires à Stromatopores rappelant celui de Waulsort, des calcaires impurs, argileux, stratifiés, oolithiques, détritiques, etc., des schistes gris, verdâtres et rouges, et enfin des fossiles dévoniens dont on attend encore la description. Dans toute cette formation, les filons de quartz font défaut, mais M. Dupont a relevé quatre dykes de diabase.

La troisième région est constituée par des couches largement ondulées ou horizontales reposant en discordance sur les tranches redressées des terrains dévoniens. C'est ainsi que de Tchoumbou à Ntamo, sous Léopoldville, on

---

que M. Zboïnski dénomme, avec peut-être plus d'exactitude, quartzites et schistes micacés.

Digitized by Google

trouve des psammites et des grès rouges à grains fins, avec feldspath kaolinisé. Près de la gorge du Congo, une faille fait apparaître des grès grossiers passant au poudingue, avec feldspath en grains abondants. Au Stanley-Pool, on voit en coupe, au-dessus de ce poudingue, un grès jaune et blanc compacte, un quartzite brun et enfin un grès blanc friable; mais à l'entrée de la région des chutes, le poudingue disparaît et le quartzite brun repose directement sur le grès rouge.

En somme, la coupe des terrains non plissés comprend dans la vallée du Congo: à la base, des grès rouges plus ou moins micacés et feldspathiques, un poudingue, des grès compacts jaunes et blancs, un quartzite brun, enfin des grès blancs friables. Cette série forme, d'après M. Dupont, transgression sur les sommets de la chaine ancienne, jusqu'à Tomolokouti. Au-dessus s'étend la formation du Congo, qui comprend à la base des cailloux roulés, cimentés par de l'oxyde de fer, puis des sables quartzeux et des argiles; elle occupe toute la vallée, où elle atteint parfois une épaisseur de 100 mètres, tandis que dans la vallée du Niari-Kouilou s'étend la latérite.

Comparaison avec la coupe de l'Ogooué. — On le voit, l'analogie n'est pas grande et les prévisions du Dr Lenz sont loin de la vérité. Les gneiss et micaschistes qui, dans le Congo, forment la bordure extérieure de la chaine côtière (*), font complètement défaut, à cette place, dans l'Ogooué, et si nous en avons trouvé des traces, ce n'est que bien loin à l'intérieur, au milieu des grès. Au contraire, les terrains métamorphiques et le groupe des schistes ampéliteux, phtanites et dolomie, qui ont dans

(*) Nous n'admettons ce résultat, énoncé par M. Dupont, que sous toute réserve; il est en contradiction avec les observations de M. Zboïnski, et nous verrons plus tard qu'il constituerait une anomalie.

l'Ogooué une importance prépondérante, sont réduits dans le Congo à une bande de 15 ou 20 kilomètres. La formation calcaréo-schisteuse, le dévonien de M. Dupont, fait complètement défaut chez nous et, comme équivalent, nous ne pouvons lui donner que nos schistes argileux et nos arkoses compactes à ciment calcaire. Enfin, la coupe des grès se réduit singulièrement dans l'Ogooué, puisqu'elle ne comprend que le psammite de Franceville, peu développé, et le grès blanc des Batékés.

Néanmoins, on peut, par les caractères précédemment énumérés, établir la correspondance suivante :

	OGOOUÉ	CONGO
1° Gneiss et micaschistes (?).	....	Gneiss et micaschistes (?).
Terrains métamorphisés (précambrien et silurien) (?).........	Terrains métamorphiques; schistes, phtanites, dolomie..........	Schistes et quartzites plus ou moins métamorphiques.
2° Terrains seulement plissés (dévonien et carbofère) (?)...........	Schistes et arkoses de l'Ofoué; arkose du haut Ogooué.........	Calcaires et schistes.
3° Terrains non plissés...	Psammite de Franceville, etc.; grès blanc..................	Grès rouge compacte; grès friables.

Le granite, qui apparait de loin en loin dans l'Ogooué jusqu'aux plateaux des Batékés, est, au contraire, concentré dans le Congo à la bordure extérieure du massif ancien. En même temps, la bande de terrains anciens est singulièrement rétrécie sur le Congo, puisqu'à partir de Manianga, à 250 kilomètres de la côte, on n'y rencontre plus que des grès; et cependant il résulte des descriptions de M. Dupont et de nos propres observations, que les plissements sont beaucoup plus énergiques au sud qu'au nord. Tandis que le massif du Congo forme une bande parallèle à la côte, qui semble, d'après les tracés de M. Dupont et d'autres documents que nous mentionnerons plus tard, se rétrécir vers le nord et s'élargir progressivement vers le sud, celui de l'Ogooué n'est que la bordure des puissants monts de Cristal où se trou-

Digitized by Google

vent les sommets les plus élevés de la région côtière. Nous sommes en présence de deux massifs distincts, comme le sont en France ceux de la Bretagne et du Plateau central, et nous ne devons point nous étonner de trouver dans leur constitution d'assez notables différences.

M. Dupont a repris, en l'exagérant encore, la conception de la chaîne côtière de M. Lenz. D'après lui, l'Afrique a la forme d'une cuvette, avec quatre déversoirs : le Zambèze, le Nil, le Niger et le Congo ; la structure actuelle s'explique de la façon suivante. Un plissement ancien, soulevant une ceinture de montagnes, a circonscrit un bassin fermé de toutes parts ; les grès s'y sont déposés par trituration des roches formant la bordure, et ainsi la zone montagneuse s'est peu à peu désagrégée, tandis que s'est élevé le fond même du bassin. Enfin, les eaux débordèrent par quatre coins ; l'immense lac s'écoula et, à mesure que la muraille fut plus profondément entamée, quatre fleuves se dessinèrent sur un sol presque désséché.

La théorie séduit par sa simplicité ; mais si l'on essaye de la suivre dans ses détails, on ne tarde pas à se heurter à de bien grandes difficultés. Si l'on jette en effet les yeux sur la coupe de M. Dupont (*), on voit que le point culminant du massif cristallin est à 560 mètres, tandis que celui des massifs de grès est à 640 mètres : c'est la confirmation de ce principe que nous avons énoncé si souvent déjà : les sommets de la prétendue chaine côtière sont moins élevés que les hauts plateaux qu'ils limitent ; autrefois recouverts par les grès, ils n'ont été mis à nu, ici comme dans l'Ogooué, que par l'érosion. Ainsi les grès rouges de la première région des cataractes pré-

(*) Coupe géologique du Kassaï à l'Atlantique dans les *Lettres sur le Congo*.

sentent des seuils analogues à ceux du haut Ogooué; au contraire, la formation calcaréo-schisteuse a donné une série de biefs navigables, comme nos schistes et nos phtanites; enfin, dans la région cristalline qui longe la côte, on trouverait l'analogue des rapides de l'Okota.

La différence capitale entre le bassin de l'Ogooué et celui du Congo est que le premier est solidement établi sur une large assise de terrains cristallins et métamorphiques : on trouve des pointements de granite dans tous les affluents et jusqu'aux sources lointaines de la Sébé et de l'Ivindo; il résulte de là que le massif s'est maintenu jusqu'à nos jours dans son intégrité. Au contraire, le granite est rare dans le bassin du Congo; il ne forme qu'une étroite bande au bord de l'Océan, et il faut ensuite aller à plusieurs milliers de kilomètres dans l'intérieur pour le retrouver; il en résulte que postérieurement à l'émersion du grand plateau africain, il y a eu affaissement de cette région. Ainsi, tandis que l'Ogooué restait un fleuve d'ordre secondaire, n'amenant à l'Océan que les eaux d'un massif limité, la dépression relative de l'Afrique centrale devenait le bassin d'un fleuve immense; celui-ci devait fatalement s'écouler au point où la dépression s'approchait le plus de la côte, c'est-à-dire où le massif cristallin nous apparait le plus étroit; or, celui-ci va en s'élargissant vers le sud, dans le Congo portugais, et vers le nord, dans le Gabon : c'est donc par cette sorte de golfe de grès qui apparaît nettement sur notre esquisse géologique au milieu des terrains anciens que le grand fleuve devait s'écouler.

Ainsi, nous n'envisageons pas l'Afrique comme une vaste cuvette entourée d'une barrière de terrains anciens, mais comme un plateau, uniformément émergé après le trias, et dont les parties qui n'étaient pas soutenues par l'ossature des terrains cristallins se sont depuis légèrement affaissées.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

LES MONTS DE CRISTAL ET LA VALLÉE DU NIARI.

Après avoir opposé les deux coupes de l'Ogooué et du Congo, il faut maintenant essayer d'étendre aux deux régions situées l'une au nord de l'Ogooué, l'autre entre ce fleuve et le Congo, les zones géologiques que nous avons été amené à distinguer.

Les monts de Cristal. — Au nord de Njolé, le long de la côte du Gabon, s'étend une chaine de montagnes dont les sommets atteignent 1.200 et même 1.500 mètres et dépassent par conséquent de beaucoup le niveau des plateaux; elles font partie d'un vaste massif, probablement cristallin, qui entoure le golfe de Guinée et au milieu duquel s'élèvent les volcans du Caméroun, dont l'âge est beaucoup plus récent.

Il y a en ce point une véritable barrière bordant le continent africain, mais à laquelle on ne peut pas comparer les collines de l'Ogooué et du Congo; et tandis que les bassins du Niger et du Congo arrivent à se toucher derrière elle par les affluents de la Bénoué et de la Sanga, les cours d'eau intermédiaires ne sont, malgré l'importance de leur débit, que des torrents.

Dans une excursion au Mouni, le D^r^ Lenz a trouvé sur la côte les couches à *Ammonites inflatus* d'Elobi; les berges du fleuve et de ses affluents, d'une hauteur de 20 mètres, sont formées d'un minerai de fer argileux, avec, par endroits, du minerai en grains (Bohnerz). Un grès rouge à gros grains forme les rapides du Tamboni et repose sur des schistes argileux bleus dont les couches pendent à 55° vers le sud-ouest; celles-ci s'appuient

directement sur la roche syénitique qui forme la montagne. De même, le Dr Lenz a constaté que les premiers rapides du Como sont formés par du grès rouge à gros grains pendant vers l'ouest; sur sa carte, il marque un massif analogue près de l'embouchure du Congo; mais ce dernier point n'a jamais été confirmé.

Coupe de Njolé à Libreville par les sources du Como (*). — Notre itinéraire de retour s'achève par une ligne sud-nord qui va de Njolé aux sources du Como, puis par une ligne est-ouest qui va de ce dernier point à la capitale.

De l'Ogooué au point où nous avons traversé la Banga, affluent de droite de l'Ogooué, s'étend une zone de schistes et de quartzites métamorphiques : c'est le massif de Njolé qui se prolonge vers le nord; les couches sont très tourmentées, tantôt dirigées nord-sud et tantôt est-ouest, parfois presque verticales.

A partir de la Banga, s'étend un énorme massif cristallin qui justifie parfaitement le nom de monts de Cristal et nous le fait préférer à l'appellation barbare de *West-africanische Schiefergebirge*, proposée par le Dr Lenz. D'après M. Fourneau, administrateur au Congo français, les roches cristallines s'étendraient, sans discontinuité, jusqu'à une distance d'au moins 200 kilomètres de la côte. Ce massif continu a envoyé vers le sud et vers l'est les apophyses que nous avons signalées dans l'Okanda, à Boué, à la chute de l'Ivindo, et celles que J. de Brazza a rencontrées dans son exploration de la Sébé.

Le granite de la Banga est, d'après nos souvenirs, un granite rose à grains fins, puis venait, au bord du Djaré, une roche d'aspect singulier, sorte de diorite. Malheureusement ces premiers échantillons de la série nous

(*) Voir Pl. XII, *fig*. 2.

ont été volés par les Pahouins au début du combat de la rivière Assangou (22 décembre 1893). Toutefois, nous avons rapporté du Nla un granite très quartzeux, du Goumvoula un microgranite de contact et de l'Avankané la norite (*) qui a été présentée récemment par M. Michel Lévy à la Société de minéralogie. Le Djaré, le Nla, le Goumvoula et l'Avankané sont des affluents de la Banga.

A mesure qu'on s'approche du Como, le sol devient de plus en plus quartzeux : d'énormes blocs de quartz portant quelques rares cristaux de feldspath et de mica se dressent sur les bords du sentier de plus en plus impraticable; la forêt, dont les voûtes dépassent toujours 25 mètres, est cependant moins dense que sur les collines argileuses de l'Ogooué; le Como, d'abord torrent, puis fleuve impétueux, creuse péniblement son lit au milieu de la masse compacte des roches. Dans son affluent le Mina, on retrouve un vrai granite, à gros éléments, pegmatoïde et dynamométamorphique; dans le Mvelabolo, des microgranites de contact; au confluent du Nfounané, des diorites associées aux roches précédentes. Au pied du mont Maninguenéfal, un microgranite à amphibole et à sphène rappelle les « cornes » de l'Ogooué (**).

Là est à peu près la limite ouest du massif cristallin; vers la dernière boucle du Como, le pays est tout entier couvert d'argile, et les roches n'affleurent plus qu'aux rapides; ceux-ci, d'après le Dr Lenz, sont formés de grès rouge à gros grains pendant vers l'ouest; d'après ces indications, il semblerait que ce grès fût l'équivalent de celui que M. Dupont a signalé sur le Congo, et que nous allons retrouver dans la vallée du Niari-Kouilou; mais

(*) Cette roche est uniquement composé d'enstatite, de hornblende verte et de labrador.

(**) Nous avons trouvé dans les torrents des blocs de schiste chloriteux pur, mais jamais en place.

nous n'avons pas pu confirmer cette hypothèse. Au contraire, nous avons rencontré, dans notre marche vers Libreville, une série de roches qui ressemblent à s'y méprendre à nos arkoses du haut Ogooué. Le premier terme de la série est un schiste noirâtre, bitumineux, présentant au milieu d'un ciment argileux des fragments de quartz brisés; il diffère par l'aspect de ceux qui suivent et il est en couches horizontales, dans un sous-affluent du So; puis viennent, dans l'Amoy, autre affluent de l'Avébé, un psammite, et dans le Vigna, du bassin du Tamboni, une arkose micacée en bancs pendant vers l'ouest. Nous avons aussi noté, dans la Vanguia, des schistes dirigés nord-sud, dans l'Abanga (affluent du Como) un grès dolomitique et un psammite violet en grands bancs horizontaux. Il faut remarquer que tous ces points sont peu éloignés du méridien de Ningué-Ningué, île autour de laquelle le Dr Lenz a dû faire ses observations : ainsi son grès rouge doit faire partie de la même série.

Au delà de cette bande de psammites et d'arkoses, d'aspect ancien, plus ou moins inclinés vers l'ouest, et formant le versant extérieur des monts de Cristal (*), on ne rencontre plus que des couches horizontales de grès plus ou moins micacé, blanchâtre, que l'on peut considérer soit comme la partie supérieure de la formation permo-triasique, soit comme la base du crétacé gréseux d'Elobi. Le même problème a été posé par M. Choffat pour les grès de Dombe et par M. Dupont pour ceux du bas Congo. Nous ne possédons pas encore des éléments assez précis pour le résoudre d'une façon certaine. Que ces grès se soient déposés au pied d'un massif déjà émergé, cela est certain, mais ce qu'on ne sait point, c'est s'ils sont antérieurs aux ruptures qui ont dessiné

(*) Versant extrêmement réduit dans le massif de l'Ogooué.

le continent. Cette formation s'étend dans les bassins de l'Avoula, de l'Assangou et du Djemboé, tous les trois affluents du bas Como. L'embouchure du Djemboé est située près de Donguila et l'influence de la marée y est déjà sensible. Dans le bassin de l'Ikoy, que l'on rencontre ensuite, les formations quaternaires et actuelles prédominent, puis on arrive enfin au calcaire turonien de Libreville.

Telles sont les observations que nous avons pu recueillir sur les monts de Cristal : elles présentent bien des lacunes, et cela pour deux raisons : la première, c'est que dans tous les voyages par terre que l'on peut faire dans l'Afrique équatoriale, l'argile cache le plus souvent le substratum ; on fait parfois une journée de marche (environ 15 kilomètres) sans trouver une seule roche. Mais, en outre, toute la partie de la colonie qui s'étend à l'est et au nord de la capitale est considérée à bon droit comme de beaucoup la plus dangereuse. En bien des circonstances, la géologie ne peut occuper que le second rang dans les soucis de l'explorateur; ainsi, chez les Pahouins, il ne suffit pas de recueillir des échantillons, il faut les défendre et se garder soi-même de la funèbre marmite.

Néanmoins, les caractères essentiels sont tellement évidents qu'ils ne pouvaient guère nous échapper. Tandis que la prétendue chaine côtière de l'Ogooué et du Congo n'est en réalité qu'une succession de gradins conduisant aux hauts plateaux, les monts de Cristal constituent une vraie chaine de montagnes dont le sommet n'a probablement jamais été envahi par les grès triasiques. Ce n'est pas que l'on y constate des plissements plus énergiques ou plus récents que dans les autres régions où apparaissent les terrains anciens; mais la venue granitique y a été beaucoup plus abondante et, à côté du granite, on y trouve la diorite, la norite, d'autres roches encore; les

schistes et quartzites n'y apparaissent que par places et toujours métamorphisés au maximum (*); dans l'Ogooué au contraire, ils sont beaucoup plus fréquents que le granite et présentent tous les degrés du métamorphisme. A 40 kilomètres au nord de Njolé, on pénètre déjà dans un vaste massif cristallin, dont l'étendue doit dépasser 100 kilomètres dans tous les sens. Sur la bordure extérieure, le passage aux roches clastiques nous a échappé; mais nous n'avons pas tardé à retrouver nos arkoses du haut Ogooué, inclinées vers l'ouest; puis viennent les grès discordants, horizontaux, d'âge incertain, et enfin les calcaires crétacés.

Ces conclusions ne seraient pas difficiles à vérifier en suivant le rivage nord de l'estuaire du Gabon et en remontant le Como en pirogue; du moins, nous avons étudié quelques échantillons déposés au Muséum par M. Pobéguin, chef d'exploration; les plus intéressants peuvent être classés de la façon suivante :

De Sangatanga (estuaire).	Grès quartzeux ferrugineux.
De Donguila (Djemboé) . .	Grès calcarifère.
De Varamocok (Como). . .	Grès micacé.
De Ningué-Ningué	Diorite et granite. Quartzite. Grès argileux, micacé et feldspathique.

Nous voyons encore les grès anciens, d'abord feldspathiques et micacés, devenir ensuite calcaires et ferrugineux.

M. Pobéguin a aussi rapporté de Bénito un schiste bitumineux, semblable à celui que nous avons trouvé sur la bordure du massif cristallin.

Enfin, avec des échantillons de lignite, provenant du Mouni, on nous a remis un schiste argileux, à grains dolomitiques, renfermant de nombreux cristaux de pyrite;

(*) Sauf les blocs de schiste chloriteux déjà mentionnés.

il nous paraît d'âge récent, mais ne correspond à aucun terme de nos différentes séries (*).

En résumé, dans une coupe ouest-est, passant par Libreville, l'importance des diverses formations serait la suivante :

1° A Libreville. Turonien horizontal.	5km
2° Région saumâtre de l'Ikoy.	15
3° Grès ferrugineux, calcarifère, horizontal.	40
4° A la hauteur de Ningué-Ningué et de l'Abanga. Grès micacé et feldspathique en couches inclinées vers l'ouest [grès rouge de Lenz (?)]	20km
5° Région cristalline.	30km constatés, 100 probablement.

Région intermédiaire entre le Congo et l'Ogooué. — Une lacune de plus de 2° en latitude s'étend au milieu de notre esquisse géologique ; c'est grand dommage, parce que, au milieu, s'élève un massif montagneux important et isolé, les monts Birogou-Bouanga de Duchaillu, dont le niveau dépasse peut-être celui des plateaux, et dont il serait essentiel de connaître la nature. Nous ne possédons que quelques indications très sommaires de M. Pechuel-Lœsche sur les cours inférieurs du Nianga et du Kouilou, et encore est-il difficile de les reporter sur nos cartes.

Dans le Nianga, la zone cristalline et métamorphique n'existerait pas. M. Pechuel-Lœsche indique seulement des schistes argileux et un petit massif calcaire ; mais il est impossible de dire si ces deux formations correspondent à notre silurien et au dévonien de M. Dupont. Dans le Niari-Kouilou, au contraire, les schistes cristallins apparaissent en une bande, formant les chutes de Kakamuëka ; puis viennent les schistes argileux et enfin les

(*) C'est probablement un facies continental du permo-trias, analogue aux schistes du Karoo.

Digitized by Google

grès rouges, à une faible distance de la côte. Quant au granite, il n'est signalé que sur le littoral, un peu au sud de Mayoumba, formant un pointement aurifère connu depuis longtemps.

Ainsi la zone métamorphique qui, sur la bordure extérieure du plateau, donne une région tourmentée, avec des montées et des descentes fréquentes, et par conséquent difficile à traverser, semble être réduite au minimum, dans le bassin du Nianga ; peu étendue dans celui du Niari-Kouilou, elle augmente peu à peu d'importance vers le sud et se complique singulièrement au point où elle est coupée par le Congo : là, en effet, apparaissent les micaschistes, les gneiss et le granite ; vers le nord, elle s'accroît plus rapidement encore ; déjà considérable dans le bassin de l'Ogooué, son développement devient énorme dans les monts de Cristal. Et la géologie nous conduit à cette conséquence : c'est vers le troisième et le quatrième parallèle, que l'on doit chercher la voie de pénétration la plus facile, sinon la plus courte, vers le bassin du Congo.

Pourquoi le grand fleuve lui-même n'a-t-il pas suivi à rebours cette voie ? Nous avons dit que toute l'importance de son bassin était due à un affaissement d'une partie du plateau non soutenue par le massif cristallin ; pourquoi ce mouvement ne s'est-il pas prolongé vers la côte, entre les degrés 2 et 4 de latitude sud ? Il y a là une objection grave contre notre théorie, objection qu'il est difficile de réfuter d'une façon certaine dans l'état actuel de nos connaissances.

Notre opinion, c'est que dans cette région-là, il existe, non plus près de la côte, mais à 300 kilomètres dans l'intérieur, un massif cristallin, à peine visible au milieu des grès, mais qui a empêché l'affaissement de se propager. On pourrait à bon droit nous accuser de faire un cercle vicieux, si nous n'avions quelque autre raison de croire à

l'existence de ce massif. Mais, en allant de Franceville à Njolé, nous avons rencontré, loin de la côte, dans le bassin du Lébiou, du granite en abondance au milieu des grès. Il se pourrait que le nœud orogénique des monts Birogou fût également un pointement granitique, analogue à ceux des monts de Cristal (*). Enfin, sur sa carte manuscrite, J. de Brazza indique, au sud du plateau des Achicouyas, entre Franceville et Brazzaville, un important massif granitique dirigé nord-sud et formant la ligne de séparation entre le bassin du Congo (Léfini) et celui du Niari-Kouilou. Près du granite, à l'ouest, on trouverait à la fois les phyllades de l'Ogooué (schistes et phtanites) et les calcaires du Congo. Malheureusement la carte est trop petite et trop grossièrement faite pour qu'on puisse reporter ces indications sur l'itinéraire correspondant, dont on ne connait pas d'ailleurs la position exacte en longitude. Mais quelques kilomètres à l'ouest ou à l'est importent peu : il parait maintenant naturel que les eaux réunies dans la vaste dépression qui constitue la vallée du Congo aient cherché à s'écouler au-dessous du quatrième parallèle sud.

Coupe de Loango à Brazzaville, d'après MM. Cholet et Thollon. — La route des caravanes traverse d'abord une plaine de sable, au milieu de laquelle s'élèvent quelques collines rougeâtres, formées de sable ou de cette terre rouge, peu cohérente, fossilifère, signalée à Loango par M. Pechuel-Lœsche.

A 40 kilomètres de la ville commence le Mayombe, région de montagnes et de forêts, au sol glissant, dangereux pour les porteurs. Cette bande, large d'environ 50 kilomètres, présente d'abord des grès blancs et rouges

(*) Dans l'autre hypothèse, ce serait simplement un ensemble de pics découpés par l'érosion dans les grès et les phtanites, comme le mont Désonsa.

assez durs : c'est la continuation des couches largement ondulées aperçues par M. Dupont. Puis, viennent des leptynolites blanches, des schistes micacés, des micro-granites, semblables à ceux de Njolé et enfin des schistes plissés plus ou moins métamorphiques formant les monts Kaba et Bamba. Certains termes de cette série ressemblent beaucoup à nos roches de l'Ogooué ; d'autres, comme la leptynolite blanche, ont un aspect différent, du moins à l'œil nu. Comme dans l'Ogooué, il n'y a pas de gneiss, ni de micaschiste franc.

Peut-être, après tout, en est-il de même dans le Congo, malgré les descriptions de MM. Pechuel-Lœsche, Zboïnski et Dupont : on sait combien il est difficile de distinguer à simple vue les roches primitives de certaines autres beaucoup plus récentes et métamorphiques (*). Le granite n'a pas été encore signalé dans le Mayombe. Les sommets sont recouverts d'un grès blanc ou ferrugineux analogue à celui des monts Désousa ; au-dessus, on trouve encore l'argile rouge, avec minerai de fer concrétionné.

A la sortie du Mayombe, les couches pendent vers le nord-est, et dans tout le massif la direction moyenne est nord-ouest. Au delà s'étend une vaste région de schistes non métamorphiques et de calcaires dolomitiques non plissés. Ces calcaires sont en bancs horizontaux, découpés en mamelons ou en édifices par l'érosion ; les schistes sont parfois très finement ondulés.

Dans le lit du ruisseau Comba, à la sortie du Mayombe, ces schistes horizontaux sont en discordance avec les précédents ; dans le lit du Loubomo, affluent du Niari, on retrouve les mêmes couches, alternant avec des calcaires siliceux, à géodes de quartz. Après ces deux apparitions, on ne rencontre plus, sur une longueur de

(*) Il ne faut pas oublier que M. Lenz et Jacques de Brazza avaient aussi trouvé des gneiss et des micaschistes dans l'Ogooué.

35 kilomètres, que des grès blancs recouverts d'argile rouge et formant plateau ; mais vers le sud, on aperçoit dans les bas-fonds des affleurements de calcaire gris ; à 10 kilomètres avant Loudima, le mont Mbélo présente aussi des tables horizontales de calcaire.

A Loudima même, le calcaire dolomitique affleure dans le lit de la rivière et forme, au nord-est du poste, une muraille de 20 mètres de haut, percée de grottes. Plusieurs roches du même niveau ont une structure intéressante. Les calcaires sont le plus souvent impurs, siliceux, marneux, schisteux ; certains laissent à l'attaque par les acides un silicate, qui, d'après M. Henri Le Chatelier, ingénieur en chef des mines, a pour formule : $2 SiO^2, MgO, 1/2 HO$. Un des échantillons rapportés par M. Thollon a spécialement attiré notre attention : c'est une roche noirâtre formée de grains d'une substance insoluble dans les acides, entourés d'une pellicule charbonneuse et cimentés par de la dolomie ; au microscope, les grains se présentent sous forme d'oolithes calcaires transformés en partie en un silicate analogue au précédent ; quant à la matière charbonneuse, elle a peut-être été injectée sous forme de bitume.

Entre Loudima et Comba, s'élèvent, au milieu de l'argile rouge, des massifs calcaires en forme d'édifices : ces bancs sont toujours horizontaux, placés légèrement en retrait les uns sur les autres ; ils ont de 1 à 2 mètres de puissance ; la hauteur totale de l'édifice atteint jusqu'à 60 mètres. A la base, on trouve quelques lits alternés de schistes gris et de schistes rouges, plus ou moins calcaires, d'une épaisseur de 2 ou 3 centimètres ; le massif calcaire est également surmonté, en général, d'une plaque de schiste rouge. Dans les intervalles des massifs, on rencontre, noyés dans l'argile, des blocs de phtanite et de poudingue ferrugineux.

D'après M. Thollon, les calcaires et les schistes dispa-

Digitized by Google

raissent complètement au sud et au sud-est de Comba, au delà des mines de Mindouli ; quant à la limite nord, elle coupe probablement la boucle du Kouilou un peu au-dessus du quatrième parallèle, mais se relève ensuite vers le nord-est pour aller envelopper le massif signalé par M. J. de Brazza et dont nous avons déjà parlé. Au nord comme au sud, la formation disparaît sous le grès rouge.

Dans son exploration du Djoué, M. Thollon a trouvé la ligne de séparation de cette formation calcaire et des grès blancs des Batékés. Au milieu d'un cirque d'argile rouge à conglomérat ferrugineux, se dressent six massifs calcaires figurant d'immenses édifices. Vue au microscope, la roche présente des oolithes qui semblent souvent s'être développées autour de cristaux de quartz bipyramidés. En d'autres points du même itinéraire, M. Thollon a recueilli des échantillons de calcaire bariolé et de schiste gris et enfin, à l'extrême limite du massif, des poudingues à ciment calcaire. Ceux-ci renferment, entr'autres fragments, une roche granitique : par là est confirmée l'existence du massif plus ancien signalé par M. J. de Brazza au sud du plateau des Achikouyas (*).

De Comba à Brazzaville, en parcourant le dernier segment de la route des caravanes, on rencontre deux formations : dans les vallées, des bancs horizontaux de grès rouges, plus ou moins schisteux et micacés, recouverts d'argile rouge ; sur les hauteurs, des grès blancs passant à la roche blanche de Brazzaville, et surmontés

---

(*) D'après M. Thollon, ces roches seraient surmontées de bancs siliceux roses, rappelant par leur composition certains phtanites de l'Ogooué; elles se distinguent de plus de la formation dévonienne par leur structure; on pourrait peut-être les considérer non comme l'équivalent de cette formation, mais comme des représentants de l'étage cambrien.

Digitized by Google

de sables également blancs ; ceux-ci s'étendent fort loin à l'intérieur, formant les dunes du pays des Batékés, que nous avons déjà signalées près de Franceville. Ces grès et sables blancs ne sont probablement pas limités à l'arc de grand cercle qui passe par Brazzaville et Franceville ; ils doivent s'avancer vers l'ouest et former une sorte de golfe entre ce dernier poste et le massif ancien qui a rejeté le Congo vers le sud.

Au nord de Brazzaville, sur la rive du Stanley-Pool, cette formation prend un aspect spécial : c'est une roche blanche, siliceuse, friable, présentant dans ses fentes de nombreux minéraux microscopiques : elle forme des falaises de 300 mètres de haut que Stanley a appelées les Dover Cliffs et qu'il a pris, de loin, pour de la craie : l'erreur est très naturelle.

Comparaison avec la coupe du Congo. — On retrouve, en parcourant la route des porteurs, les quatre zones définies par M. Dupont, dans la gorge du Congo. A l'entrée du Mayombe et à Boma, la même incertitude règne sur les grès de la zone sublittorale, permo-triasiques ou crétacés. La zone cristalline et métamorphique est deux fois moins épaisse dans le bas Kouilou que dans le bas Congo ; elle va mourir au nord vers le Nianga, tandis qu'elle s'élargit vers le sud, au moins jusqu'à Bembé, dans le Congo portugais. Son axe, sensiblement nord-ouest dans le Mayombe, se redresse peu à peu dans le Congo : il est nord dans l'Angola. Les gneiss et micaschistes qui, dans le Congo, occuperaient, d'après M. Dupont, les deux tiers de la zone, disparaissent rapidement vers le nord en même temps que le granite. En revanche, la troisième zone, celle des calcaires et des schistes, dont l'importance, dans le Congo, était comparable à celle de la seconde, se développe largement vers le nord ; cela tient probablement à l'existence d'un second axe de sou-

Digitized by Google

lèvement ancien, plus éloigné de la côte que le premier, et autour duquel se sont produits des efforts limités vers le sud. Nous ne possédons malheureusement sur ce massif que les données fort incomplètes de J. de Brazza.

Les couches de calcaire et de schiste que M. Dupont attribue au dévonien et qui, d'après lui, sont très fortement plissées dans la région du Congo, sont au contraire horizontales autour de Loudima, de Comba et dans le Djoué, et concordantes avec les grès rouges. Cette allure peu tourmentée est en harmonie avec celle des schistes et phtanites et des arkoses à ciment calcaire de l'Ogooué : là, les seuls plissements énergiques sont dans les régions métamorphiques et s'expliquent peut-être par l'intrusion des masses rocheuses. Enfin les grès rouges, feldspathiques et micacés à la base, rappellent à s'y méprendre le grès rouge permien, le grès vosgien et le grès bigarré ; les assises supérieures, décolorées, plus friables, réduites en sable, présentent, autour de Stanley-Pool, une variété exceptionnelle.

CHAPITRE VIII.

GITES MINÉRAUX ET MÉTALLIFÈRES.

Combustibles minéraux. — Le Congo français, qui possède de si merveilleuses forêts, semble privé de véritables gisements de houille. Le carbonifère, qui affleure dans le sud de l'Afrique, est ici enfoui sous les grès permo-triasiques et s'il apparait en quelque point, dégagé par l'érosion, il est stérile comme les terrains exclusivement gréseux qui le surmontent ; dans le sud, au contraire, le Karoo renferme, au milieu des grès, des couches de schiste et de la houille (*). C'est peut-être à la

(*) Indication d'un facies plus nettement continental.

Digitized by Google

limite du massif ancien le plus énergiquement soulevé, celui des monts de Cristal, qu'on aurait le plus de chance de trouver les affleurements carbonifères, en particulier sur la côte de la Gabonie, où les couches paléozoïques pendent vers l'Océan (*).

Il existe à Bata, au milieu d'un schiste gris, pyriteux, qui ne se rapproche d'aucun terme des différentes séries que nous avons étudiées, et qui paraît beaucoup plus récent que tous les schistes de l'Ogooué et du Congo, une couche de lignite; les échantillons que nous avons eus entre les mains constituent un assez mauvais combustible et nous manquons de renseignements sur l'importance du gite.

Huiles minérales. — On a toujours prétendu qu'il existait du pétrole au Congo. En réalité, dans toute la région côtière, on trouve de petits puits d'où s'échappe en faible quantité une matière visqueuse, noirâtre ou brunâtre, dont les indigènes enduisent les pirogues, les pilotis de leurs cases, etc. Divers voyageurs qui ont étudié les gîtes de la province d'Angola, ont conclu que la substance en question est du bitume et ne présente pas grand intérêt.

Plusieurs puits ont été signalés dans le bas Ogooué et dans le Ngounié ; entre autres une sorte de fontaine intermittente dans la région du Fernan-Vaz et une source au bord du lac Isanla, à 6 heures de Ncogo (rive gauche de l'Ogooué, en amont du Lambaréné). Les pouvoirs calorifiques de deux échantillons qui proviennent de cette région se rapprochent beaucoup, d'après des expériences faites à l'École des Mines, de ceux de divers pétroles (**). Il est donc probable qu'on pourrait retirer, par distilla-

(*) Grès feldspathiques et micacés paléozoïques.

(**) Huile minérale du Fernan-Vaz . . . 10.188 calories.
— du lac Isanla . . . . 9.267 —

Digitized by Google

tion de ces hydrocarbures, pris en profondeur pour éviter l'action oxydante de l'air, une huile minérale de bonne qualité. Mais le débit des différents puits connus paraît très faible et on ne pourrait être fixé sur l'importance et sur la valeur du produit que par des sondages.

Sel gemme. — Le sel est fort estimé des indigènes et constitue dans plusieurs régions de la colonie un important objet d'échange. Dans la province d'Angola, la formation permo-triasique en renferme des gisements considérables, exploités d'ailleurs par les indigènes. Dans notre colonie, on ne connaît encore rien de pareil, sauf peut-être un gîte signalé par J. de Brazza dans son exploration de la Sébé et sur lequel nous manquons de détails. En revanche, dans la région côtière, les sources salées paraissent nombreuses; il en existe une sur la route du lac Azingo au Ramboé; de même, M. Mizon a traversé au nord du Kouilou, dans le Bakamba, une plaine salée : mais là les sels amers et caustiques (magnésie et potasse) sont mélangés au sel gemme.

Calcaires. — Ils ont deux origines : la formation crétacée qui entoure le plateau africain donne, à la carrière de Glass, près de Libreville, un calcaire sableux, que l'on passe au four à chaux ; le produit est assez médiocre, on l'utilise cependant, en le mélangeant à une certaine quantité de chaux importée.

La formation dévonienne, qui apparait dans la vallée du Kouilou, près de Loudima, et qui est surtout abondante autour de Bouanza et de Comba, présente, à côté de calcaires dolomitiques, quartzeux, marneux, chargés de silicate de magnésie, des roches qui ne laissent aucun résidu aux acides. Les calcaires oolithiques du Djoué, découverts par M. Thollon, sont durs et peuvent recevoir un très beau poli; dans la gorge du Congo, où la forma-

Digitized by Google

tion dévonienne est fortement plissée, M. Dupont a trouvé de véritables marbres.

Gypse. — Nous avons souvent parlé de cette bande de grès située sur la bordure du grand plateau africain et que, dans l'état actuel de nos connaissances, on peut attribuer soit au sommet du permo-trias, soit à la base du crétacé littoral. Les grès de Dombe, étudiés par M. Choffat, renferment de nombreux gisements de soufre, de gypse et de malachite. On nous en a signalé un près du village de Goumbi, où les deux derniers minéraux se trouvent en abondance (*).

Fer. — Il existe en abondance dans toute la colonie, et ses gisements peuvent se ranger dans les quatre catégories suivantes :

1° Filons d'hématite dans le massif ancien ; j'en ai aperçu plusieurs dans l'Ogooué ; M. Zboïnski en signale un dans la gorge du Congo ; on m'a remis un échantillon provenant du Tchiloango : c'est de l'hématite presque pure (**).

2° Quartzite métamorphique à oligiste et à fer magnétique. Ce minerai est fréquent dans le massif cristallin ; nous avons signalé le quartzite de l'Okanda (itabirite de Lenz) qui rappelle le minerai de Diélette. J. de Brazza en a rencontré un analogue au bord de la rivière Sébé. M. Dybowski a rapporté du haut Oubangui un minerai exploité par les indigènes et qui ressemble à l'itabirite du

(*) Nous n'avons pu encore obtenir aucun renseignement sur la position exacte de Goumbi.

(**)

Pyrite de fer . . .	3,86	Fer.	63,20
Oxyde —	86,43	Soufre . . .	2,20
Quartz et silice . .	7,20		
Magnésie.	0,18		
Humidité	1,71		
	99,38		

Digitized by Google

Brésil. Ces oxydes de fer, qui ne renferment pas de soufre, sont les plus appréciés des forgerons indigènes.

3° Terrains sédimentaires. Nous avons parlé, au sujet de la coupe du mont Désousa, des grès ferrugineux formant ce sommet : en bien des points, cette roche est un véritable minerai.

4° Enfin, la variété la plus répandue, surtout dans la région littorale, est le minerai argileux et hydraté : limonite bulleuse ou fer pisolitique (Bohnerz de Lenz), qui se rencontrent fréquemment au milieu de la latérite.

La méthode de traitement employée par les indigènes rappelle celle de la forge catalane; et le soufflet dont ils se servent a depuis longtemps étonné les voyageurs par l'originalité quelque peu indécente de sa forme.

Manganèse. — Il est aussi très abondant. On le rencontre dans trois modes de gisements :

1° Dans les mines de cuivre;

2° Dans la latérite, sous forme d'acerdèse, formant enduit et parfois couche à la base des lits ferrugineux;

3° Dans le lit du torrent Kanda (affluent de l'Ofoué) nous avons trouvé d'énormes blocs d'un poudingue présentant quelques galets de quartz noyés dans un ciment ferrugineux qui renferme :

Fe^2O^3.	21,0 p. 100
Mn^2O^3.	70,5 —

Étain. — On soupçonne depuis longtemps la présence de l'étain dans le massif cristallin qui apparaît sur la côte occidentale d'Afrique, et M. Mizon a récemment attiré l'attention sur l'étain de la Bénoué, qui est l'objet d'un trafic considérable. Dans notre colonie, on n'a encore signalé que des traces de cassitérite dans les monts de Cristal.

Or. — De même, l'or, qui paraît exister en abondance

sur la côte nord du golfe de Guinée, ne constitue encore, dans notre colonie, qu'une curiosité naturelle. Un peu au sud de Mayoumba, près du rivage, se dresse un pointement granitique que les voyageurs ne manquent pas d'honorer d'un coup de marteau parce qu'il renferme, dit-on, des traces d'or (*).

Zinc, *plomb*, *argent*. — Ces métaux se trouvent principalement associés au cuivre, au fer et au manganèse dans des gisements qui constituent actuellement la plus grande richesse minière de la colonie.

Cuivre. — D'importants gisements de malachite existent dans le Congo portugais, et l'expédition du Katanga en a rencontré de puissantes couches dans la région du haut Congo, dont la constitution géologique présente les plus grandes analogies avec celle de la partie voisine de la côte. Il y a quelque vingt ans, les gites de malachite du Congo portugais étaient exploités avec activité par les indigènes, qui produisaient une grande partie du cuivre consommé dans la région intermédiaire et même vendaient aux Européens leurs minerais les plus riches. L'exploitation s'est ralentie depuis quelques années, tant à cause de l'augmentation des frais de portage qui entrave l'exportation des minerais, jusqu'au moment où l'on aura construit des voies économiques, que par suite de l'importation de quantités de cuivre de plus en plus considérables par les Européens.

Les mêmes remarques s'appliquent aux mines de la vallée du Kouilou (**); autrefois, elles alimentaient toute

(*) D'après les indigènes, des gisements d'or existeraient dans le bassin du Nianga.

(**) Le transport d'une tonne de marchandises de Loango à Brazzaville coûte environ 1.500 francs, et l'on manque de porteurs.

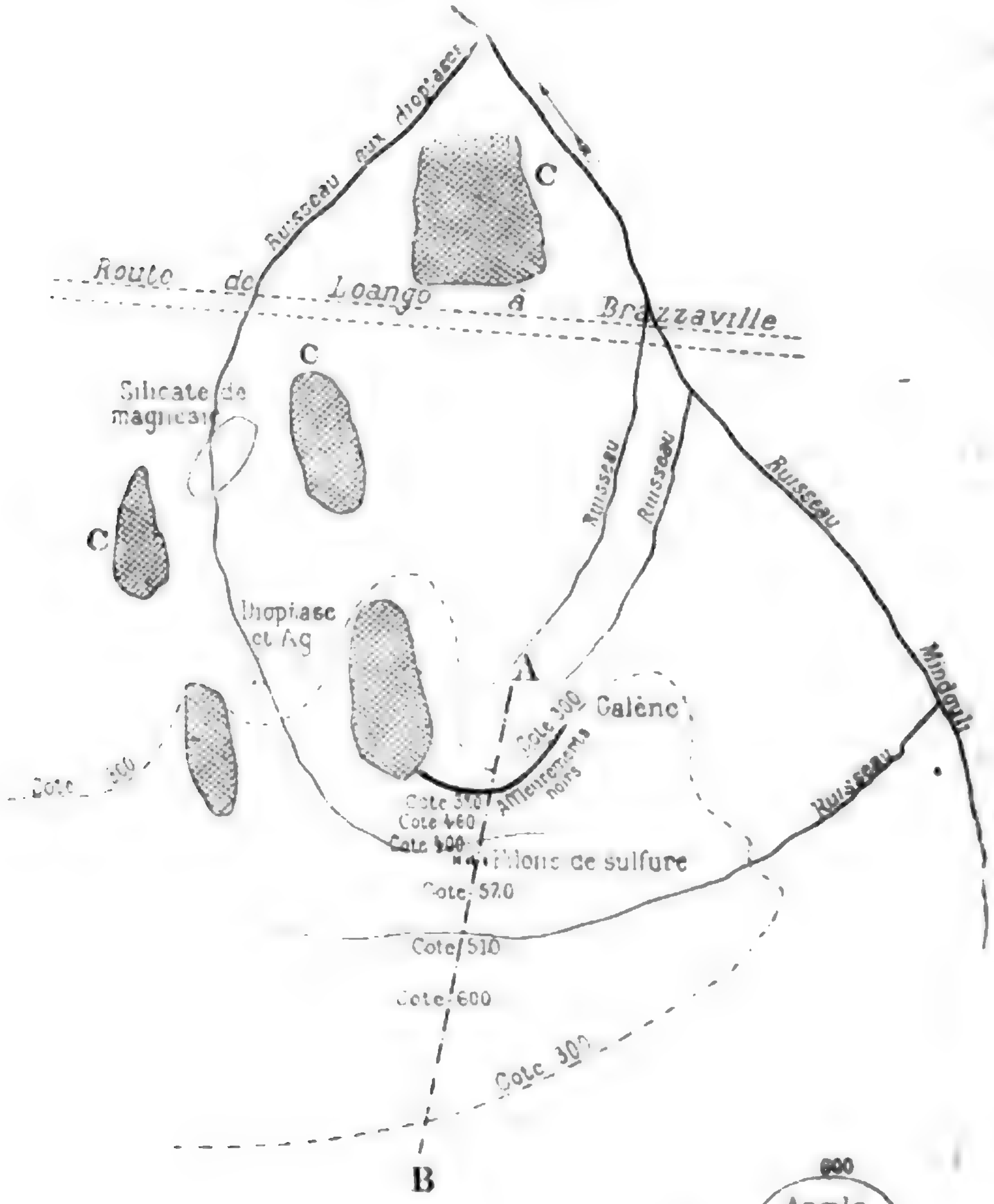
la région de l'Ogooué et le pays des Batékés; même des maisons de commerce de Marseille exportaient de la malachite; aujourd'hui, les puits sont presque tous abandonnés, les indigènes cultivent le manioc dans la terre verte. Le cuivre est toujours la principale monnaie dans le pays, mais le gouvernement et les commerçants en importent de très grandes quantités sous forme de barrettes et de fils.

Le plus anciennement connu de ces massifs miniers est celui de Mboko-Songo, qui forme, entre le poste de Bouanza et la frontière de l'État indépendant, une vaste ellipse, dont le grand axe, dirigé de l'ouest à l'est, a plus de 20 kilomètres de longueur; il est analogue à celui de Mindouli, voisin du poste de Comba, que nous décrirons avec quelques détails. D'après les indications des indigènes, d'autres gites existent à l'ouest et au nord des précédents. Enfin, on peut affirmer dans la région des monts de Cristal et dans la Gabonie, la présence, sinon l'abondance, de la malachite, de la chalcosine et peut-être même du cuivre natif (*). Il y a donc, le long de la côte du Congo français, une zone large d'environ 300 kilomètres, dans laquelle sont distribués d'abondants gites complexes, caractérisés par la prédominance du cuivre. Comme type de gisement, nous décrirons celui de Mindouli.

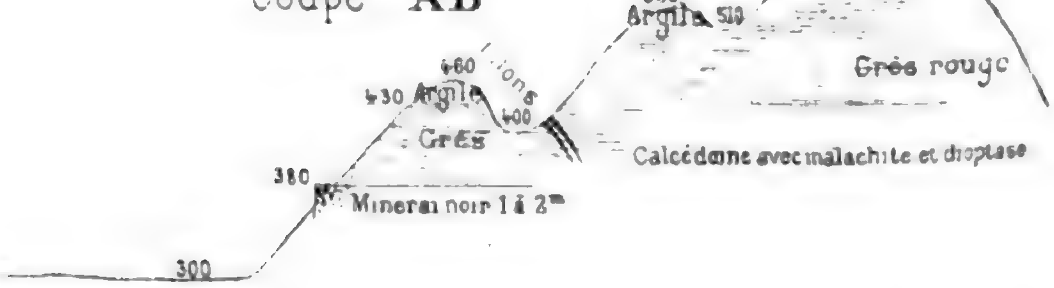
Région de Mindouli. — La région de Mindouli est, d'après M. Thollon, constituée par des massifs de calcaire déjà décrits, surmontés de grès rouges horizontaux, le tout très découpé par l'érosion et plus ou moins masqué par

(*) Les gîtes de cuivre du Gabon seraient probablement assez voisins de la côte pour être exploités. Ils diffèrent de ceux du Kouilou, la malachite y étant généralement associée au gypse, comme dans l'Angola : ce sont des gîtes sédimentaires; ceux que nous décrirons au contraire sont des gîtes filonieus et de substitution.

Gîte de Mindouli



Coupe **AB**



l'argile rouge. Ainsi, au sud de la route de Comba, on remarque quatre massifs calcaires (C) formant un rectangle;

les deux plus voisins de la route sont isolés; les deux autres sont accolés à une colline de direction est-ouest : quatre ruisseaux s'en écoulent vers la petite rivière Mindouli. C'est dans celui d'entre eux qui serpente entre les massifs calcaires que M. Thollon a trouvé les premières dioptases avec cristaux d'argent natif décrites par M. Lacroix. Le fond de ce ruisseau est formé par une roche grise, légère, qui se compose presque exclusivement du silicate $2SiO^2, MgO, 1/2 HO$, dont la présence a été signalée pour la première fois par M. H. Le Chatelier, dans les roches de la région. Vu de la route, le gîte se présente comme un cirque : le pied de la colline est à la cote 300 environ; à 80 mètres du sol, une ligne noirâtre se dessine au sommet d'une pente d'argile rouge : c'est une saillie formée par une couche puissante de 1 à 2 mètres d'un minerai noirâtre, manganésifère et cuivreux (*). Au-dessus, sur une hauteur de 50 mètres environ, une roche calcédonieuse présente des géodes nombreuses, avec cristaux et mouches de dioptase et de malachite; la première crête de la colline est formée d'argile rouge; en la franchissant, on trouve le ruisseau aux dioptases, qui coule vers l'est à la saison des pluies et qui est à sec à la saison sèche; en remontant le lit de ce ruisseau, M. Thollon y a vu, derrière la partie du gîte exploitée par les indigènes, plusieurs filons verticaux, larges de 4 à 5 centimètres, au milieu de la roche quartzeuse : le minerai est du sulfure de cuivre avec filonnets d'argent. Si on franchit la deuxième crête (cote 520), on trouve un second ruisseau, qui coule sur des grès rouges et qui est stérile. La troisième et dernière crête (cote 600) est uni-

(*) Analyse d'un échantillon de M. Thollon :

Quartz et silice	35	96
CuO	16	
MnO^2	35	
HO	10	

quement formée d'argile rouge. Dans le massif calcaire qui confine au gîte, on trouve aussi des mouches de dioptase, tandis que l'autre extrémité de la colline est surtout riche en galène et renferme en outre un peu de malachite, de wulfénite et de cérusite. On trouve encore, à Mindouli, un silicate de cuivre amorphe dont la couleur varie du bleu au vert, et qui a la même composition que la dioptase. Enfin, M. A. Le Chatelier a signalé une roche constituée par un mélange de quartz, de willémite, de carbonates de chaux et de plomb.

En résumé, le gite de Mindouli est à la fois filonien et de substitution : des filons de sulfures complexes (fer, manganèse, cuivre, plomb, zinc, argent) ont traversé les couches dévoniennes, peut-être même les grès rouges; puis, par oxydation, suivie d'entrainement par des eaux siliceuses et calcaires, il y a eu départ des métaux, dépôt du fer dans l'argile, substitution de silicates et de carbonates de manganèse, de cuivre et de zinc au calcaire d'une sorte de grauwacke; quant à la galène, elle a simplement recristallisé en un autre point.

Le gite est encore exploité par les indigènes, qui creusent de petits puits pour rechercher la galène et la malachite; ils préparent le cuivre par une série de trois ou quatre opérations analogues : calcination et réduction; il n'est pas rare de trouver entre leurs mains de gros blocs de chalcosine presque pure; mais ils évitent d'en indiquer la provenance; ils en ajoutent une certaine quantité à la fin de la dernière opération, afin d'enlever les dernières traces d'oxygène par réaction. Mais le minerai principal, le seul dont ils aient des approvisionnements, est la malachite.

Massif de Mboko-Songo. — Le massif de Mboko-Songo forme une vaste ellipse au sud du poste de Bouanza; on trouve dans toute son étendue des minerais de cuivre et de plomb, mais le cuivre est plus particulièrement à

Digitized by Google

l'ouest et le plomb à l'est ; les massifs calcaires sont nombreux ; le terrain est moins siliceux qu'à Mindouli ; aussi l'on n'y trouve que des carbonates. M. Dupont a visité la partie ouest du gisement ; les diverses mines sont des poches d'argile rouge, au milieu desquelles on trouve des blocs de malachite, de galène argentifère, de cérusite, de limonite, de phosphate de fer ; ces poches sont creusées dans des calcaires bleus et dans des schistes noirs (dévonien) ; les grès rouges sont superposés au calcaire sans discordance.

On voit qu'il existe la plus grande analogie entre les gîtes de Mindouli et Mboko-Songo et ceux de l'Oural. Leur exploitation redeviendra fructueuse dès qu'on aura établi entre Brazzaville et la côte une voie ferrée ou une voie mixte qui, d'après ce que nous avons dit au début de ce travail, sera nécessairement voisine de ces richesses.

Résumé. — On divise les gîtes en deux groupes principaux : le premier, qui comprend les gîtes d'inclusion et les gîtes filoniens, est rattaché aux éruptions ; le second, qui comprend les gîtes sédimentaires et ceux de substitution, aux phénomènes dans lequel l'eau joue le rôle principal. Le massif ancien qui apparaît sur toute la bordure du plateau africain et dans quelques parties de l'intérieur, traversé, surtout dans les monts de Cristal, d'une ou de plusieurs venues rocheuses (granite, diorite, etc.), paraît destiné à nous donner, après des recherches attentives, de sérieuses richesses. Mais les études sont difficiles et les gîtes qu'on peut s'attendre à trouver, toujours limités, de leur nature, peuvent échapper pendant longtemps aux regards les plus perspicaces. Ainsi, tandis que nous avons signalé bien des minéraux développés par le métamorphisme, grenat, mica, tourmaline, chez les Apingis, fer oligiste et spinelles dans le Mayombe, les filons de granulite et de pegmatite ne

Digitized by Google

nous ont pas donné trace d'étain, non plus que ceux de quartz laiteux, trace d'or; et les seuls filons métallisés que nous ayons rencontrés étaient d'hématite. Mais nous persistons à croire, malgré le peu de succès immédiat de ces premières explorations, que les monts de Cristal nous réservent de grandes surprises et nous ne saurions trop répéter que c'est seulement par des recherches minutieuses et systématiques qu'on peut espérer quelques succès.

Après les éruptions primaires, probablement antérieures au dévonien, on constate un arrêt, et il faut aller jusqu'à la fin de l'ère permo-triasique pour trouver une nouvelle roche cristalline, la diabase, probablement contemporaine des grandes cassures qui ont dessiné le continent africain. Nous avons établi en effet que cette roche est postérieure au dépôt des derniers grès du grand plateau. Nous sommes tenté de rapporter à son éruption la totalité ou du moins la majeure partie des gites de cuivre du Congo, qui lui seraient alors subordonnés d'une façon plus ou moins directe. Et cette conception théorique n'est pas sans importance pratique; car, partout où on trouvera la diabase, il y aura quelque chance de rencontrer du cuivre. Ainsi, dans le haut Ogooué, nous avons retrouvé la roche signalée pour la première fois par M. Pechuel-Lœsche dans le Congo : à ces deux zones à diabase, correspondraient les gites de la Gabonie et ceux du Niari. Nous avons trouvé une diabase renfermant jusqu'à 10 p. 100 de pyrite de fer et, en un autre point, un filon entièrement rempli de la même roche et dont les parois étaient tapissés d'un minerai de fer concrétionné. La venue sulfureuse, stérile en ces points, pourrait bien renfermer non loin de là, outre le fer, du cuivre, du zinc, du plomb, de l'argent.

Enfin, la troisième phase dans l'histoire des éruptions du Congo est caractérisée par l'apparition des volcans du

Digitized by Google

Caméroun et de l'écran d'îles volcaniques qui s'étend devant la côte occidentale d'Afrique jusqu'à Sainte-Hélène : à cette éruption probablement tertiaire, il faut rattacher la limburgite de la pointe Ngombé et, au point de vue pratique, les sources salées et les puits de bitume qui peuvent devenir si intéressants pour notre colonie.

Si nous passons maintenant aux gites sédimentaires, nous avons à constater l'absence, l'enfouissement, ou la stérilité du terrain houiller. Nous répétons que, si l'on a quelque chance de le rencontrer, ce n'est que sur la bordure du massif des monts de Cristal, en affleurements, ou à quelque distance par des sondages.

Enfin, avec le permo-trias, apparaissent deux facies différents. Le facies nettement continental, qui prédomine au Cap et qui porte le nom de Karoo, est riche en couches de végétaux constituant soit de véritables houilles, soit des lignites. Ce facies apparait autour des monts de Cristal, continuant peut-être le houiller; et le lignite de Bata en est la preuve manifeste : là, au milieu des grès, s'intercalent des schistes pyriteux à végétaux.

Comme transition entre le facies continental que nous venons de décrire et le facies marin caractérisé par des bancs calcaires, nous rencontrons le facies lagunaire que le permo-trias et peut-être même le lias et le jurassique supérieur ont dû affecter en Gabonie et dans le Congo portugais. C'est à ce facies que nous rattachons les grès de Dombe et ceux de la Gabonie qui renferment des gîtes de sel gemme, de gypse et de malachite sédimentaires. Tous ces gisements doivent être cherchés sur la bordure du grand plateau.

Au point de vue pratique, les gites de cuivre de la Gabonie, s'il est démontré par des études de détail qu'ils aient une extension suffisante, et ceux du Niari, lorsqu'ils seront à proximité d'une voie économique, seront avantageusement exploitables. Le fer, au contraire, ne

Digitized by Google

saurait être employé pendant longtemps encore que pour les usages locaux, de même que le lignite de Bata; les puits salés et les gîtes de sel gemme pourront fournir sans frais de transport et à des distances souvent considérables de la côte, un précieux objet d'échange. Les puits de bitume, par distillation sur place, donneront, d'une part, une huile excellente pour l'éclairage et pour les machines spéciales; et, d'autre part, ces résidus qui, sous le nom de mazou, sont employés dans tout le Caucase au chauffage des locomotives.

Enfin, au point de vue de la construction et des travaux publics, on peut dire que les matières premières ne font pas défaut à notre colonie : on y trouve en abondance le bois, la pierre à plâtre, la pierre à chaux, les pierres de construction (calcaires, grès, granite), l'argile.

Si ce ne sont pas là des richesses de premier ordre, il convient toutefois d'en tenir compte dans une exploitation méthodique et rationnelle du pays : elles nous paraissent destinées à fournir un appoint qui, actuellement, n'est déjà pas négligeable, aux entreprises agricoles, qu'il faudra, si l'on veut donner quelque essor à notre colonie, substituer prochainement au système du troc, au commerce du caoutchouc et de l'ivoire, tel qu'on l'a entendu jusqu'à présent. Et cette importance ne fera que s'accroître à mesure que le pays, à peine exploré, sera plus complètement connu : la latérite qui couvre presque tout le pays cache sans doute bien des richesses et le massif des monts de Cristal, si rarement visité, nous réserve bien des surprises.

CHAPITRE VIII.

CONCLUSIONS.

L'Afrique occidentale présente au voyageur, entre l'estuaire du Gabon et l'embouchure du Congo, une côte basse, marécageuse, découpée de lacs nombreux et d'estuaires profonds; au delà de cette zone littorale, d'une largeur moyenne de 60 kilomètres, on arrive, par une succession d'arêtes et de gradins au grand plateau, profondément creusé par l'érosion, sur lequel s'étend la majestueuse forêt équatoriale. Là, les points ménagés par les eaux ne dépassent pas 800 mètres, tandis qu'au nord du Gabon, une véritable chaîne côtière, formant le fond du golfe de Guinée, s'élève à 700 mètres plus haut.

Sur les côtes, affleurent des calcaires gréseux fossilifères qui se sont déposés à partir du crétacé inférieur jusqu'à nos jours; ils dépassent aujourd'hui de quelques mètres le niveau de la mer, révélant ainsi un faible et récent relèvement du rivage. Puis viennent des grès sans fossiles, largement ondulés, d'âge incertain; enfin des terrains anciens, formant des crêtes de plus en plus élevées jusqu'aux plateaux; ceux-ci sont, comme la bordure sublittorale, de grès non fossilifères, et laissent parfois apparaître, au milieu des vallées les plus profondément creusées, un soubassement granitique et métamorphique; ils sont limités vers le nord-ouest par des pointements, également cristallins, de 1.500 mètres d'altitude. L'argile et le sable couvrent presque tout le pays, ils ne laissent plus voir, à 500 kilomètres de la côte, que les grès plus ou moins friables, toujours horizontaux; et pour retrouver les roches anciennes, il faut aller

jusque dans le haut Oubangui (*), ou, dans le haut Congo, sur les confins du massif des grands lacs (**), ou encore. vers le sud, dans les monts Mossamba (***). Ainsi le bassin du Congo est entouré d'une ligne discontinue de massifs anciens, tantôt peu apparents au milieu des grès, tantôt dépassant de beaucoup leur niveau.

Au cours du présent travail, nous avons signalé, sur le sol même de la colonie, la présence de trois de ces massifs, très différents d'importance. Le plus puissant est celui des monts de Cristal : il forme au nord de l'équateur et le long des côtes de la Gabonie, sur trois cents milles au moins, une bande large d'environ 200 kilomètres (****), presque exclusivement composée de roches granitiques, qui enveloppent quelques fragments de schistes et de quartzites énergiquement métamorphisés. Les apophyses granitiques s'étendent, sous les grès, jusqu'à 5 ou 600 kilomètres de la côte, dans le bassin de Sébé (*****) et vers le sud, dans le bassin de l'Ogooué; mais dans ces régions les terrains métamorphiques et les sédiments anciens prédominent de beaucoup sur les roches cristallines.

Le second massif est celui du bas Congo : il n'a été dégagé que par l'érosion, comme les roches anciennes de l'Ogooué; largement développé vers le sud, il n'est probablement qu'une apophyse des monts Mossamba (1.600 mètres) qui forment dans la province portugaise de Benguéla le pendant des monts de Cristal; il vient mourir au nord vers Mayoumba : le granite y est encore plus rare que dans l'Ogooué et ne se manifeste que par des pointements isolés autour de Mayoumba et de Boma.

(*) St. Meunier, *loc. cit.* Voir la bibliographie.
(**) Dr J. Cornet, *loc. cit.*
(***) Paul Choffat, *loc. cit.*
(****) D'après M. Fourneau.
(*****) D'après J. de Brazza.

A 200 kilomètres à l'est de ce premier axe de soulèvement s'en trouve un second autour duquel se grouperaient les monts Birogou-Bouanza de Duchaillu, nœud orogénique essentiel dont la nature géologique est encore inconnue (*), les divers pointements granitiques que nous avons aperçus dans le haut Ogooué et dans ses affluents de gauche et enfin le massif cristallin marqué par J. de Brazza au sud du plateau des Achikouyas. Cette seconde saillie s'affirme moins nettement que la première; elle se rattache peut-être aux monts de Cristal et elle paraît limitée vers le sud : c'est grâce à elle que le cours inférieur du Congo s'est rejeté au-dessous du cinquième degré de latitude sud, au lieu de traverser la brèche de Mayoumba, et que se sont établis les deux bassins autonomes du Niari et du Nianga.

On manque de renseignements précis sur les monts Mossamba, dont le massif du bas Congo n'est probablement que le prolongement vers le nord; en revanche, l'expédition de Katanga a rapporté des coupes détaillées du versant ouest du massif des grands lacs. Citons enfin, pour mémoire, trois bandes de terrains métamorphiques rencontrés par M. Dybowski sur la route d'El Kouti, au nord du coude de l'Oubangui : elles se rattachent probablement à un massif plus important.

Après avoir rappelé brièvement la structure de la partie occidentale de l'Afrique équatoriale, nous allons essayer d'en suivre l'évolution à travers les âges géologiques.

Archéen. — Sans reprendre l'éternelle discussion sur l'origine des terrains primitifs, nous pouvons dès maintenant affirmer que dans la région précédemment définie

(*) Une seconde hypothèse ferait des monts Birogou un massif ménagé par l'érosion au milieu des grès.

Digitized by Google

les types classiques de gneiss et de micaschistes n'existent pas ou du moins sont très peu répandus. Il n'y en a pas trace dans l'Ogooué non plus que dans les monts de Cristal, qui manifestent cependant un soulèvement énergique; nous en avons seulement rencontré au sud de l'Ogooué affleurant avec des granites au fond des vallées; encore, leurs caractères ne sont pas francs, leur stratification n'est pas nette et on peut les envisager soit comme des granites de contact, soit comme des roches sédimentaires au maximum de métamorphisme.

De même le D^{r} J. Cornet, dans son étude très détaillée des roches du Katanga, mentionne des granites et des couches métamorphiques, mais pas un gneiss : il s'étend très explicitement sur des roches ayant l'aspect de micaschistes archéens, et qui ne sont en réalité que des grès micacés, très énergiquement comprimés, des phyllades gris, bleus ou verts, des schistes micacés ou séricitenx, des schistes peu transformés; on reconnaît l'équivalent des roches de l'Ogooué.

Les roches du haut Oubangui, décrites par M. St. Meunier n'appartiennent pas davantage à des types francs; certaines d'entre elles rappellent simplement les granites de contact, les schistes micacés et feldspathisés, les leptynolites, les quartzites micacés et oligistifères de l'Ogooué, déterminés par M. Michel Lévy. Pour les roches du Mayombe, recueillies par MM. Cholet et Thollon, le doute n'est pas permis : elles sont uniquement métamorphiques.

Il ne reste donc, en fait de terrains archéens, que les gneiss et micaschistes avec intercalation de six bandes de granite et de granulite, rencontrées par M. Dupont entre la Roche fétiche et Mossouk, et les micaschistes, quartzites, poudingues et gneiss amphiboliques, qui leur succèdent jusqu'à Ngoma. Et même la détermination rapide des roches cristallophylliennes étant très délicate,

il est permis d'émettre un doute à cet égard jusqu'au moment où M. Dupont publiera les résultats de l'étude microscopique des échantillons qu'il a rapportés ; ses premières observations sont, en effet, en contradiction avec celles de son prédécesseur M. Zboïnski : celui-ci n'avait rencontré entre Boma et Vivi que des quartzites à tourmaline, et de Vivi à Issanguila que des schistes micacés (grès blancs micacés, schistes micacés rosés ou rougeâtres, schistes micacés clairs), qui présenteraient la plus grande analogie avec les roches de l'Ogooué.

Si plus tard il était définitivement établi que le massif du bas Congo est en partie archéen, on pourrait immédiatement affirmer que le plissement huronien qui, d'après une remarque de M. Marcel Bertrand (*), semblait localisé dans l'extrême nord, s'est également produit dans la zone équatoriale; car, d'après M. Dupont, il y aurait une discordance manifeste entre les gneiss et micaschistes qui pendent vers le sud-ouest et les phyllades et quartzites, antérieurs au dévonien, probablement cambriens, qui pendent vers le nord-est. Ainsi, au continent paléarctique, révélé par M. Marcel Bertrand, correspondrait au moins l'ébauche du futur continent indo-africain.

Précambrien et silurien. Terrains métamorphiques. — Quelques lambeaux de schistes et de quartzites, au maximum de métamorphisme, sont empâtés dans le vaste massif granitique des monts de Cristal. Mais c'est dans ses prolongements, là où le granite n'apparaît plus que par places, que l'on trouve des roches sédimentaires anciennes, présentant tous les degrés de transformation. Nous avons présenté avec quelques détails celles de l'Ogooué, et les indications sommaires de J. de Brazza

(*) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 3e série, XVI, p. 576.

Digitized by Google

révèlent l'existence de formations analogues jusque dans le bassin de la Sébé, où elles apparaissent dans les bas-fonds, au milieu des grès horizontaux. Ainsi, autour du puissant soulèvement rocheux des monts de Cristal, s'étend une zone plissée de terrains sédimentaires anciens, plus ou moins pénétrés par le granite, par la pegmatite et par le quartz laiteux, et métamorphisés, soit par l'action de ces roches et des vapeurs qui les accompagnaient, soit par d'énergiques mouvements; et, bien que des traces de dynamométamorphisme soient évidentes, dans les terrains stratifiés comme dans les granites, on peut affirmer que, du moins sur le pourtour des monts de Cristal, la seconde cause de transformation a été beaucoup moins efficace que la première (*).

En allant de l'ouest à l'est dans le bassin de l'Ogooué, nous avons rencontré successivement des granites de contact et des schistes feldspathisés, de plus en plus micacés, avec toutes leurs variétés et tous leurs équivalents des séries quartzeuses et marneuses, les leptynolites et les cornes. Nous croyons avoir établi que les plus récents de ces terrains métamorphiques correspondent à une importante formation de schistes ampéliteux, de phtanites et de dolomies, qui se présentent en couches faiblement ondulées, et que, par analogie avec les roches de la Bretagne, on pourrait attribuer à la partie supérieure du silurien, tandis que les schistes chloriteux et leurs variétés représenteraient le précambrien. Par suite du métamorphisme, le passage entre les deux formations est presque insensible et nous n'avons relevé aucune discordance.

A l'ensemble de ces roches correspondraient, dans la coupe du Congo, les terrains qualifiés d'archéens par

---

(*) Au contraire, M. J. Cornet paraît attribuer une part importante au dynamométamorphisme dans la genèse du massif des grands lacs.

Digitized by Google

MM. Pechuel-Lœsche et Dupont, et de métamorphiques par M. Zboïnski, s'il est démontré que la seconde opinion est plus voisine de la vérité, et, en tous cas, le poudingue, les phyllades (schistes verts satinés), les quartrites et les schistes gris, qui, d'après M. Dupont, s'étendent entre Ngoma et le Long Reach, interrompus par la diabase d'Issanguila, traversés de nombreux filons de quartz et discordants d'une part, avec les prétendus gneiss et micaschistes, de l'autre, avec les calcschistes dévoniens.

Un peu au nord du Congo, dans le Mayombe, la formation équivalente comprend des leptynolites blanches, des schistes micacés et feldspathisés, et des schistes micacés de diverses couleurs ; la venue quartzeuse est extrêmement abondante.

Mais l'analogie est encore plus grande entre la région de l'Ogooué et celle du versant occidental du massif des grands lacs. Le pays parcouru par l'expédition de Katanga et décrit au point de vue géologique par M. J. Cornet, est compris entre les degrés 4 et 10 de latitude sud, 22 et 28 de longitude est. Il équivaut à peu près en surface à celui que nous avons défini au début du présent travail, et il en est éloigné de 2 ou 3.000 kilomètres. M. Cornet divise les terrains du haut Congo en quatre groupes principaux : le premier comprend les alluvions et les grès horizontaux ; le second, les couches paléozoïques non métamorphiques ; celles-ci sont réparties elles-mêmes en deux sous-groupes qui correspondent très sensiblement à notre dévonien et à notre silurien ; enfin viennent les terrains métamorphiques et les roches éruptives (*).

La formation équivalente à notre silurien, comprend en un point (couches G) des schistes et quartzites qui rappellent ceux du bas Congo (Cambrien?). Mais l'ana-

(*) M. Cornet ne fait aucune hypothèse sur l'âge absolu des

logie est plus évidente entre les couches F et celles de l'Ogooué. M. Cornet mentionne en effet : à la base, un conglomérat à fragments de roches H, qui sont elles-mêmes des roches G métamorphisées; puis des schistes fins, noirs, charbonneux, des grès feldspathiques, des quartzites, des schistes siliceux, des calcaires et des dolomies : on retrouve, au milieu d'une série plus riche, nos schistes ampéliteux, nos phtanites et nos dolomies de l'Ogooué.

Les roches métamorphiques (cambrien et précambrien), comprennent d'abord le groupe H, déjà mentionné et composé de phyllites et de quartzites qui correspondent aux schistes et quartzites G. Puis viennent les couches H_1, peu métamorphiques, qui comprennent des quartzites, des schistes siliceux et talqueux, un phtanite oolithique, des calcaires et des calcschistes. Cette série n'est pas sans analogie avec les roches rapportées du haut Djoué par M. Thollon : on peut donc considérer provisoirement ces dernières soit comme continuant, après une interruption la formation calcaréo-schisteuse du Congo et du Kouilou (dévonien), soit comme formant une bande cambrienne au bord du massif granitique signalé par J.

---

couches et les désigne par le nom de la région où elles prédominent et par une lettre. L'équivalence serait la suivante :

	Permo-Trias (?). .	A. Alluvions, B. Lubilasch-Schichten. C. Kundulungu Sch.		
		Région de Luabala.	*Région de Lufila.*	
Paléozoïque.	Dévonien (?).	*d.* Kazembe Sch. *e.* Moanga Sch.	D. Katété Sch.	
		E. Kafunda-Mikopo Sch.	E'. Basangaland. Muimbo Berg. Kilasa.	
	Silurien (?).	F. Lubudi Sch. G. Kabélé Sch.	Métamorphique.	H. Lufupa Sch. H_1. Moachia Shc. I. Nzilo Sch. K. Funge Sch. L. Kissola Sch.

Digitized by

de Brazza. Les couches I, qui viennent au-dessous de H_1 sont des schistes et des grès feldspathisés, micacés et ferrugineux, et ayant subi d'énergiques compressions qui leur ont donné une apparence de micaschistes archéens et d'amphibolites. Cette définition s'applique exactement aux roches de l'Ogooué, sauf que, dans cette dernière région, le dynamométamorphisme a été probablement moins important que dans le Katanga.

Le groupe K comprend des schistes micacés, des quartzites micacés analogues à l'itacolumite, des quartzites à tourmaline et à grenat et de nombreux filons de pegmatite : on retrouve donc dans le Katanga, avec le facies de notre région des Apingis, ces roches à apparence d'itacolumite rapportées par M. Dybowski du haut Oubangui et les quartzites à tourmaline signalés par M. Zboïnski entre Boma et Mossouk, et postérieurement dénommés par M. Dupont, micaschistes et gneiss à grenat et à tourmaline. Enfin, le groupe le plus ancien (L) comprend, avec les schistes chloriteux, un marbre saccharoïde, un hälleflinta riche en fer magnétique, et des phyllites.

Si nous nous sommes étendus, avec quelques détails, sur les résultats, d'ailleurs fort intéressants en eux-mêmes, récemment publiés par M. J. Cornet, c'est qu'ils mettent en évidence deux faits essentiels : la complète analogie qui existe entre la région du haut Congo et celle du bas Congo et de l'Ogooué, analogie que nous allons voir s'affirmer de plus en plus dans la suite des âges géologiques; et, en second lieu, la très grande rareté, pour ne pas dire l'absence complète, de véritables roches archéennes dans tout le bassin du Congo.

Si les roches dénommées par M. Dupont gneiss et micaschistes, sont en réalité de l'âge précambrien, il n'en demeurera pas moins établi qu'il existe, dans le massif du bas Congo, une discordance entre ce terrain et le

silurien. De même, M. Cornet marque sur ses coupes une discordance entre les couches K précambriennes et les couches G cambriennes. Or, M. Marcel Bertrand a déjà signalé (*), à propos de la chaine huronienne du nord, deux discordances : l'une entre l'archéen et le précambrien, réservée aux régions les plus septentrionales, l'autre entre le précambrien et le silurien, dont les effets se sont fait sentir sous des latitudes plus méridionales.

Les ilots huroniens de l'Afrique équatoriale se sont renforcés sans doute par l'adjonction d'une nouvelle bande à la fin du silurien. Le plissement calédonien est manifesté par la discordance du cambrien et du dévonien du bas Congo, signalé par M. Dupont. M. Cornet marque aussi dans ses coupes une discordance entre le précambrien (I et L) et le dévonien (*d*, *e*, E).

Roches éruptives anciennes. — Les phénomènes éruptifs anciens qui ont produit les zones métamorphiques étaient probablement subordonnés aux dislocations huronienne et calédonienne : en tout cas, ils ne semblent pas avoir atteint la formation dévonienne.

Nous rappellerons que le massif du Congo présente, seulement dans sa bordure extérieure, six bandes de granite et de granulite ; dans l'intérieur, jusqu'au confluent du Kassaï, M. Dupont n'a rencontré, en fait de roche éruptive, que la diabase, dont l'âge est beaucoup plus récent. Le granite fait complètement défaut dans la coupe de Loango à Brazzaville et reparait seulement vers le nord, près de Mayoumba, au bord l'Océan. Ainsi les roches éruptives ont un faible développement dans le massif du bas Congo, et la zone métamorphique y est assez peu étendue.

Au contraire, dans l'Ogooué, le granite est fréquent et

(*) *Loc. cit.*, p. 577.

Digitized by

les terrains métamorphiques forment une bande d'une largeur de 300 kilomètres. Il parait impossible, dans l'état actuel de nos connaissances, d'affirmer qu'il y ait eu plusieurs venues granitiques distinctes et de fixer leur âge relatif, et nous nous bornerons à rappeler les variétés suivantes :

Granite de Lambaréné, normal ;
Pegmatite des Apingis, à microcline ;
Filons de quartz laiteux ;
Granite pegmatoïde de Lopé ;
Granite à amphibole de Mangi ;
Granite syénitique, pegmatoïde, amphibolique par places de Boué ;
Granite pegmatoïde de l'Ivindo, etc.

L'ensemble de ces roches peut être caractérisé par la prédominance du feldspath sur les éléments quartz et mica ; elles sont souvent dynamométamorphiques et présentent des quartz moirés et des feldspaths tordus.

Enfin, au nord de l'Ogooué, dans les monts de Cristal, les roches éruptives prédominent de beaucoup ; elles ont recouvert ou dissous dans leurs épanchements les sédiments qui apparaissent seulement par lambeaux énergiquement métamorphisés. Aux types de granite déjà décrits, il convient de joindre celui du Nla, presque exclusivement quartzeux, et très répandu dans le haut Como et en outre la diorite, la norite de l'Avankané, d'autres roches encore.

La plupart de ces types sont représentés dans le Katanga, avec, en outre, la syénite augitique, les porphyres quartzifères, les porphyrites micacées, la diabase, le gabbro, etc.

Dévonien et carbonifère. — Les plissements huroniens et calédoniens, suivis d'abondantes éruptions, ont dessiné

Digitized by Google

Ainsi, tandis que vers le sud s'étendait, empiétant sur l'emplacement actuel de l'Atlantique, un continent calédonien postérieurement disloqué, vers le nord, un pointement cristallin, entouré d'îlots, émergeait au milieu de la mer dévonienne ; ce pointement, qui devait être relevé encore soit par le mouvement hercynien, soit peut-être par une nouvelle venue de roches fondues, marquait ainsi aux âges les plus reculés, et affirmait encore à l'époque houillère et même, comme nous le verrons, à l'époque tertiaire (*), l'un des points essentiels de la géographie africaine.

Le carbonifère ne présente, dans les régions que nous étudions, aucun caractère qui permette de le distinguer du dévonien : tout au plus pourrait-on lui attribuer les schistes charbonneux mentionnés par M. Cornet, vers le sommet des terrains plissés et certaines roches analogues que nous avons rencontrées sur la bordure occidentale des monts de Cristal. Au Cap, on ne sait si c'est au carboniférien qu'il faut attribuer le grès de la montagne de la Table, qui repose sur le dévonien plissé et sert de base aux grès de Karoo (**). Dans le Sahara seulement des fossiles ont été recueillis, entre le Maroc et Tombouctou, par M. Lenz (***), et tout récemment vers Aïn-Sala par M. Foureau.

Mais si le début de la période troublée qui correspond aux dépôts houillers ne peut être fixé avec précision, il semble que, pour la partie moyenne, il y ait eu synchronisme entre l'Europe et l'Afrique. A cet égard, le centre du continent reste encore muet et c'est dans le sud qu'il faut aller chercher des preuves. La flore du Westphalien

---

(*) Le massif éruptif du Caméroun est sur la bordure septentrionale des monts de Cristal.

(**) De Lapparent, *Tr. de géologie*, p. 866.

(***) *Verhandl. der k. k. geol. Reichsanstalt*. Vienne, juin 1882.

d'Europe est représentée dans l'Afrique australe (*) et celle du Stéphanien à Tete, dans le bassin du Zambèze (**).

C'est un fait à peu près universellement admis, que, vers la fin du carboniférien, une grande terre s'allongeait dans les régions australes, de l'ouest à l'est, faisant pendant à l'Eurasie : le Brésil, l'Afrique australe et centrale, le sud de l'Inde, l'Australie et la Nouvelle-Calédonie formaient ainsi un vaste continent, sans doute discontinue, mais dans lequel ne devaient désormais ne manifester que des effondrements.

Il est nécessaire de donner quelques détails sur l'allure que présentait ce continent autour du bassin actuel du Congo, au début de l'ère permo-triasique. Le massif des monts de Cristal, renforcé peut-être par de nouvelles éruptions, ou soulevé par les mouvements hercyniens, formait, au nord-ouest, une ile de plus en plus étendue. Vers le sud-ouest, les monts Mossamba lui faisaient pendant. Vers le sud, une zone plus énergiquement plissée émergeait sans doute presque complètement jusqu'au dixième parallèle, et vers l'est se dressait le massif des grands lacs. A l'ouest, une simple ligne de récifs ou de faibles profondeurs marquait l'emplacement futur de la prétendue chaîne côtière : le massif de l'Ogooué formait comme le socle des monts de Cristal, tandis que celui du bas Congo prolongeait vers le nord les monts Mossamba, et qu'une seconde ligne s'indiquait un peu en arrière, à la hauteur du plateau des Achikouyas. Les couches siluriennes et dévoniennes à peine ondulées entouraient les monts de Cristal, tandis que la formation calcaréo-schisteuse, énergiquement plissée dans le massif du bas Congo, était tendue comme un voile entre les deux axes parallèles de soulèvement qui limitent aujourd'hui les

(*) *Sitzungsber. der k. böhm. Ges.*, 1887-1888.
(**) Zeiller, *Ann. des mines*, nov.-déc. 1883.

Digitized by Google

bassins du Niari et du Nianga. Un bras de mer occupait probablement la plus grande partie de l'emplacement actuel des bassins du Congo, du Chari et du Bahr-el-Gazal ; mais la sédimentation y était troublée par l'apport d'énormes quantités de sable quartzeux, plus ou moins mélangé de mica, de feldspath et d'argile, arraché par les eaux aux sommets et aux récifs rocheux. Un tel milieu était peu favorable à la vie, ce qui explique l'absence de fossiles marins ; et tandis que les couches à végétaux abondent dans les formations terrestres de l'Afrique australe, ce n'est guère que sur la bordure des massifs nettement émergés qu'on aurait quelque chance de les rencontrer au Congo. Ainsi l'uniformité des grès sans fossiles ni plantes, allait pendant l'ère permo-triasique envahir la plus grande partie du sol de notre colonie ; au nord-ouest seulement, le massif des monts de Cristal devait conserver une physionomie singulière, avec ses cimes et son corps rocheux, avec son écorce très évasée de terrains sédimentaires, dans les plis de laquelle se cachent peut-être quelques nids de houille : géant ravagé, mais impérissable, dont les racines de granite plongent sous la nappe presque indéfinie des grès.

Permo-trias. — Le type classique du permo-trias africain est le Karoo du Cap. Il comprend, au-dessus du Dwyka-Conglomerat, des couches sensiblement horizontales de grès et de schistes sans consistance, bariolés, avec de nombreux lits de combustible ; la flore ne laisse pas de doute sur l'âge, les squelettes des grands reptiles y abondent et le facies est nettement continental. Comme équivalent, on ne trouve dans l'Ogooué et dans le Congo que des grès horizontaux reposant sur les couches dévoniennes plissées. Et tandis que, dans l'Ogooué, la coupe (*)

(*) Elle se réduit au psammite de Franceville, peu développé, et au grès blanc.

révèle une pauvreté de sédimentation corrélative de plissements peu énergiques, dans le Congo et dans le Kouilou, elle comprend à la base des psammites et des grès feldspathiques compacts de couleur rouge; puis un poudingue, un grès jaune et blanc, un quartzite brun, et enfin le grès blanc friable.

Dans le Katanga, les couches (C) présentent, avec les grès rouges feldspathiques, des schistes et des calcschistes et de même les couches (B) renferment quelques schistes au milieu des grès. En outre, ces grès, qui, dans la région des plateaux, ne dépassent pas l'altitude de 800 mètres, s'élèvent dans les monts Kundelungu, près du lac Moero, à 1.630 mètres.

Ainsi, comme le dit très nettement M. Suess (*), toute l'Afrique équatoriale est recouverte par des couches horizontales de grès sans fossiles, ne laissant apparaître, au fond des vallées dues à l'érosion, que des roches anciennes, et si le synchronisme de cette formation avec celle de Karoo est probable, il n'est nullement démontré. Il ne saurait cependant y avoir de doute pour la limite inférieure : au nord comme au sud, en Europe comme dans l'Afrique australe, le dernier des plissements anciens est contemporain du carbonifère, et si le terrain houiller n'apparait pas dans le bassin du Congo, c'est qu'il a été recouvert par la transgression des grès. Mais deux points restent encore obscurs : cette formation gréseuse est-elle terrestre, comme le Karoo? Doit-on, comme au Karoo, lui assigner pour limite supérieure l'infra-lias?

On sait qu'au début de l'ère permienne, une vaste mer s'étendait sur l'emplacement actuel de la Méditerranée, empiétant vers le nord sur les terrains émergés pendant le stéphanien, tandis que s'affirmait au sud le continent

---

(*) Suess, *Antlitz der Erde*, I, p. 513.

Indo-africain (*). Nous allons essayer de fixer le rivage méridional de cette mer en indiquant sur la bordure de la terre australe le passage du facies marin au facies continental; tout d'abord, il faut affirmer qu'on ne saurait tracer une ligne de démarcation nette, mais seulement une bande, large parfois de plusieurs centaines de kilomètres, et qui fut alternativement émergée et submergée.

C'est dans l'Inde, dans la chaîne du Salt Range, au Pendjab, que l'on a trouvé le véritable facies marin du permien (**), tandis que dans l'Hindoustan central et méridional apparait la formation de Gondwana, dont les assises inférieures sont équivalentes au Karoo (***); à Bornéo, on retrouve des traces de continent et le mélange des facies, tandis que le permien de Timor est franchement marin. Enfin, en Australie, la zone mixte parait traverser la Nouvelle-Galles du Sud, les couches étant franchement marines dans le Queensland et nettement terrestres dans la province de Victoria; puis le rivage se recourbait probablement après avoir entouré en partie la Nouvelle-Zélande, la Nouvelle-Calédonie et la Tasmanie. Le continent indo-africain s'étendait à l'ouest à travers l'emplacement actuel de l'Atlantique, englobant l'extrême sud de l'Amérique, tandis que la mer permienne occupait le bassin des Amazones (****).

En reportant ces indications sur une mappemonde, on voit le rivage méridional de la mer permienne décrire entre l'Australie et l'Amérique du Sud une courbe dont les extrémites s'appuient sur le tropique du Capricorne et dont le sommet est tangent au tropique du Cancer : la

(*) De Lapparent, *loc. cit.*, p. 886.
(**) De Lapparent, *loc. cit.*, p. 903.
(***) Medlicott et Blanford, *Manual of the geol. of India*, 1879.
(****) De Lapparent, *loc. cit.*, p. 904-905.

Digitized by Google

branche occidentale traverse l'Afrique aux environs du Congo.

Bien que la question ne puisse encore être résolue d'une façon définitive, il paraît donc probable que le permo-trias du Congo est moins nettement continental que celui du Cap. Absolument analogue par son aspect au grès rouge, au grès vosgien, au grès bigarré et généralement à toutes les roches quartzeuses qui se sont formées au voisinage des massifs anciens, il renferme probablement des lentilles calcaires fossilifères marquant l'invasion de la mer : ainsi M. J. Cornet a déjà signalé des calcschistes au milieu des grès du Katanga, et, dans la zone littorale, nous avons mentionné des grès gypsifères et cuprifères, déposés sans doute dans un bassin peu profond. En somme, la zone équatoriale de l'Afrique devait se présenter à l'ère permo-triasique comme une région continentale peu élevée, très découpée de bras de mer, d'estuaires et de lagunes et que de très petites oscillations suffisaient à émerger ou à submerger presque entièrement. Ces alternances devaient être assez fréquentes pour que le milieu fût peu favorable à la vie dans l'un et dans l'autre règne. Sur le pourtour du bassin actuel du Congo s'élevaient des terres plus stables. qui envoyaient vers le centre la masse énorme de leurs sédiments quartzeux.

Déjà pendant la période triasique, le mouvement d'émersion semble s'accentuer dans le continent indo-africain : la mer se retire du Brésil, tandis que se maintiennent les terres émergées du Karoo et de Gondwana, et que le mélange des facies persiste dans les terres australiennes (*). Même régime pendant l'infra-lias : l'assise moyenne du groupe de Gondwana et le sommet du Karoo appartiennent à cet étage. Seulement, les mouvements

(*) De Lapparent, *loc. cit.*, p. 942-944.

Digitized by Google

de gondolement, qui produisaient l'alternance des émersions et des submersions, allaient s'accentuant de plus en plus jusqu'aux ruptures prochaines.

Jurassique, *Crétacé*, *Tertiaire*, *Quaternaire*. — Le premier accident sérieux est manifesté par l'invasion de la mer liasique dans le voisinage de Madagascar; des espèces liasiques ont été, en effet, reconnues parmi les fossiles rapportés du nord-ouest de l'île par M. Grandidier (*); une brèche s'était donc ouverte, dès le début de l'ère jurassique, faisant communiquer Madagascar et l'Indus, relié lui-même aux mers européennes (**). Puis la séparation entre l'Inde et l'Afrique s'affirme de plus en plus : le bathonien apparait dans le royaume de Choa, au sud de l'Abyssinie (***), et, à 400 kilomètres plus au nord, à Antalo (****) ; il recouvre, à Madagascar, le bajocien et le lias (*****). Enfin, pendant le jura supérieur, Madagascar se sépare à son tour de l'Afrique : le callovien et le kimméridien supérieur apparaissent à Mombas, près de Zanzibar (******).

Mais c'est pendant la période infra-crétacée que la forme actuelle de la partie australe du continent africain a dû se dessiner d'une façon presque définitive. La mer qui avait commencé à envahir l'Algérie, dès le sinémurien (*******), et qui devait atteindre son maximum d'extension pendant la transgression cénomanienne (********), entame fortement le continent qui s'étendait aux ères

(*) Fischer, *Comptes rendus*, LXVI, p. 111.
(**) De Lapparent, *loc. cit.*, p. 1020.
(***) Aubry et Douvillé, *Bull. de la Soc. de géol. de France*, [3], XIV, 201.
(****) Blanford, *Geology of Abyninia.*
(*****) Fischer, *loc. cit.*
(******) Suess, *loc. cit.*, I, p. 515.
(*******) De Lapparent, *loc. cit.*, p. 981.
(********) Suess, *loc. cit.*

Digitized by Google

précédentes entre le bassin des Amazones et l'Afrique équatoriale : un large segment s'affaisse, tandis que par compensation le plateau africain émerge hautement et définitivement. Aussi allons-nous trouver les premiers dépôts crétacés de la côte occidentale d'Afrique sous la forme d'une simple ceinture entourant ce plateau, dont la surface primitivement horizontale, légèrement ondulée et affaissée sur les bords, a été, depuis l'émersion, de plus en plus ravinée par l'érosion ; et les couches que nous trouverons à la base de la formation fossilifère seront encore formées aux dépens des roches voisines, c'est-à-dire presque exclusivement gréseuses ; mais, peu à peu, la puissance de la sédimentation diminuera, la mer deviendra plus tranquille, et les conditions de la vie plus favorables : l'élément calcaire prédominera en certains points et des bancs entiers seront pétris de fossiles.

Nous avons vu, au début de ce travail, que les couches fossilifères les plus anciennes qui affleurent sur la côte occidentale d'Afrique peuvent être rapportées à l'étage albien, c'est-à-dire à la partie supérieure de l'infra-crétacé. Au Cap, les couches d'Uitenhage, à fossiles néocomiens, sembleraient démontrer que la côte méridionale a été dessinée avant la côte occidentale : le mouvement qui avait commencé près de Madagascar dès le lias s'est donc propagé de l'est à l'ouest, contournant le massif énergiquement plissé et résistant de l'Afrique australe.

Il faut remarquer que le rivage actuel, et *a fortiori* la la ligne limitant les affaissements et la bande littorale des terrains horizontaux, suit toujours de très près les massifs anciens ; c'est même ce qui a fait croire, dans notre colonie, à l'existence d'une chaîne côtière ; rien de plus naturel. Les crêtes paléozoïques entièrement submergées sous les grès, aussi bien que celles plus apparentes des monts de Cristal, constituaient, au milieu du

Digitized by Google

plateau presque homogène, une partie hétérogène, et dessinaient, par conséquent, une ligne de moindre résistance, une future ligne de rupture ; et l'accident une fois produit, les grès voisins de l'arête devaient être rapidement désagrégés et entrainés par les eaux, les crêtes rocheuses se dégageant peu à peu du manteau qui les avait si longtemps recouvertes.

C'est au bas de cette pente douce que les eaux tendaient à former sur la ceinture des plateaux, mais à la régularité de laquelle s'opposaient les arêtes anciennes, que se déposèrent les premiers sédiments fossilifères, plus tard amenés au jour par une émersion lente, mais continue. Au-dessus de l'albien, qui apparait seulement dans la province d'Angola, apparait le vraconnien, zone de passage entre le crétacé inférieur et le crétacé supérieur, et enfin le cénomanien, qui semble former au Gabon la base des dépôts fossilifères, tandis qu'en Angola il repose sur les étages précédents. Nous avons décrit le turonien de Libreville, et M. Choffat les couches à *Ostrea Baylei* d'Angola qui rappellent le sénonien de Tunisie. Des gîtes fossilifères signalés sur la côte et non encore étudiés permettront sans doute de combler les lacunes de cette stratigraphie, et, dès à présent, on peut affirmer que le tertiaire est aussi bien représenté que le crétacé sur la côte occidentale d'Afrique : nous avons même signalé des plages soulevées quaternaires et modernes. Ainsi, une bande de terrains fossilifères allant du crétacé inférieur au moderne s'étend sur la côte occidentale d'Afrique entre les iles Corisco et le cap Frio ; elle atteint sa plus grande largeur vers Loanda (une centaine de kilomètres). Au sud du cap Frio, les terrains anciens plongent directement dans l'Océan, contournent le Cap, disparaissent un instant en mer, à la hauteur de la Cafrerie (*), laissant le

(*) Par suite d'un accident local ; mais les terrains anciens réapparaissent en mer, à peu de profondeur.

Digitized by Google

Karoo former le rivage, et reprennent ensuite leur direction nord-sud. C'est seulement sur la côte orientale, à la baie d'Algoa et vers Natal, que l'on retrouve les couches fossilifères : en ce dernier point, un ruban de dépôts cénomaniens et sénoniens repose, en couches horizontales, sur les assises inclinées du grès de Karoo. M. Suess en conclut qu'une dislocation antécénomanienne s'est produite en divers points de la côte d'Afrique : nous avons déjà donné l'explication de ce phénomène, et nous l'avons envisagé comme contemporain de la dislocation du continent africain qui, d'ailleurs, ne s'est probablement pas effectuée en un seul temps.

Érosion. — L'étude des vicissitudes du grand plateau équatorial, émergé dès le début du crétacé, comporte des difficultés presque insurmontables et nous devrons nous borner à poser la plupart des questions sans prétendre à les résoudre.

Tout d'abord, quel fut le régime de l'Afrique centrale pendant la durée des temps secondaires et tertiaires ? L'érosion, commencée certainement dès l'émersion, s'est-elle continuée jusqu'à nos jours, sans doute avec une puissance variable et généralement décroissante, mais avec une logique impeccable ? En ce cas, et sans rien préjuger de l'âge relatif des accidents constatés, on pourrait essayer d'en entreprendre l'histoire. Fut-elle interrompue, au contraire, pendant l'époque pleistocène, par l'invasion des glaciers ? C'est ce qu'il est impossible d'affirmer.

Plusieurs géologues ont cru trouver en Afrique des indices des phénomènes glaciaires et, généralement chaque fois qu'une difficulté se présente dans l'explication des dépôts terrestres, il est infiniment commode d'invoquer l'existence d'un glacier ; c'est ainsi qu'on pourrait recourir à ce procédé pour rendre compte de ces blocs de quartz, qui dans l'Okanda s'élèvent sur le

flanc des collines à 100 mètres au-dessus du fleuve. Nous nous bornerons à faire remarquer que la côte occidentale d'Afrique ne présente, si l'on excepte le Caméroun, volcan d'une étendue assez peu importante, que des altitudes faibles, 800 mètres dans toute la région du Congo et 1.500 mètres dans le seul massif des monts de Cristal. Donc, s'il y eu des glaciers dans la zone équatoriale, et cela parait peu probable, les phénomènes consécutifs doivent être concentrés sur la périphérie des monts de Cristal; nous n'avons point constaté cela. Et, à ceux qui affirment si aisément la possibilité des glaciers équatoriaux, nous répondrons qu'en un pays ou la décomposition superficielle et l'entrainement par les eaux ont, encore actuellement, une intensité que nous ne pouvons supçonner, d'après ce que nous voyons en Europe, les phénomènes glaciaires, s'il s'en est produit, sont sans doute trop maquillés pour qu'on puisse les reconnaitre du premier regard ; et nous croyons que ces deux causes, qui rendent nos études si difficiles, doivent en revanche nous donner la clef de bien des mystères.

Nous nous rallierons donc à la première hypothèse, et nous essayerons de rendre compte de la face actuelle des régions précédemment définies par la seule action de l'érosion, aidée, toutefois, par des affaissements et par des dislocations analogues, quoique bien inférieures en intensité, à celles qui produisirent l'individualité du continent africain. Celui-ci se présentait, au début de la période crétacée, comme une immense table, percée de loin en loin de sommets proéminents et quelque peu arrondie et fracturée sur ses bords ; les terrains anciens formaient les saillies et l'ossature, toujours voisins soit au jour, soit en profondeur, des lignes de la dislocation récente : les grès, la surface unie et comme la chair. Et le travail de l'érosion allait être de désagréger et d'en-

Digitized by Google

traîner les lambeaux voisins de la rupture, de déchausser les pics, de creuser dans la pleine chair des grès de profonds sillons qui, vers le centre, laisseraient parfois apparaître l'ossature, tandis que les bords prendraient leur aspect déchiqueté de pièces anatomiques.

Tandis que la carcasse cristalline, peu à peu dégagée, persistait en sa forme, les grès du centre, déposés en une vaste et sans doute profonde cuvette, s'affaissaient peu à peu, se tassaient et se séparaient à leur tour des lambeaux encore adhérents aux massifs anciens, par des fractures secondaires : telles la faille de la Lipopa, près de Lastoursville, et celle du bas Congo, signalée par M. Dupont; ainsi se dessinaient peu à peu les bassins des fleuves futurs. Et tandis que l'Ogooué, solidement établi sur l'apophyse résistante des monts de Cristal, que le Niari et le Nianga, soutenus par deux axes rocheux parallèles, devaient rester des cours d'eau d'ordre secondaire, l'affaissement de toute la vaste région équatoriale et australe allait former un fleuve immense, le Congo.

Ainsi aux trois aspects du continent africain : sommets, plateaux soutenus par l'ossature cristalline, plateaux affaissés, correspondent trois types de fleuves : les torrents, les fleuves à rapides, les fleuves navigables; et par la nature des choses, le même cours d'eau peut revêtir successivement ces trois caractères. Les pluies équatoriales, tombant sur les monts de Cristal y ont creusé des sillons minces, profonds, impraticables : le Como, le Temboni, le Mouni, le San Bénito. Les larges nappes d'eau ruisselant sur la région côtière ont à peu près détruit la mince croûte de grès et dégagé les crêtes rocheuses : dès lors leur régime fut troublé; ce ne fut plus un glissement continu, mais une série de parcours parallèles à la côte, avec rupture brusque de l'obstacle et passage dans un bief inférieur : de là l'histoire des rapides, longuement exposée à propos de l'Ogooué. Enfin

dans la dépression centrale, peu accusée sans doute, mais si vaste, s'est formé comme un lac d'eau douce, marécage infini, domaine futur de la forêt équatoriale et dont le confluent actuel de l'Oubangui, de la Sanga et du Congo nous donne quelque idée; jusqu'au jour où cette énorme masse d'eau s'est écoulée, au sud des apophyses des monts de Cristal, et au nord du prolongement des monts d'Angola. Mille affluents se dessinent sur un sol peu à peu desséché, à mesure que le chenal se creuse plus profondément, et l'on voit se tracer le merveilleux réseau navigable de l'intérieur; tandis que dans la région littorale, le fleuve royal, qui s'est peut-être attribué le lit d'un ancien fleuve côtier, rencontre les mêmes difficultés que ses misérables voisins. Pourquoi cette victime d'un plus puissant ne fut-elle pas le Niari-Kouilou? Pourquoi ce fleuve a-t-il conservé son individualité et tous ses avantages? C'est, nous l'avons dit, qu'un second massif cristallin, parallèle à la côte, a obligé le géant à se détourner vers le sud.

Éruptions post-triasiques. Lignes directrices de la géologie et de la géographie africaine. — Nous avons vu que l'individualité du continent africain et que quelques traits de sa face s'expliquent par une série d'affaissements limités par des ondulations et par des cassures. Aussi, postérieurement à l'émersion liasique voyons-nous apparaitre de nouvelles roches cristallines : c'est d'abord la diabase, constatée pour la première fois à Issanguila, sur le bas Congo, par M. Pechuel-Lœsche, et signalée en d'autres points par M. Dupont. Cette roche, nous l'avons retrouvée dans l'Ogooué et nous avons établi avec certitude qu'elle est postérieure au dépôt des derniers grès de l'intérieur. La venue cuivreuse qui constitue la principale richesse minérale de notre colonie, n'est-elle pas en relation avec celle de la diabase, comme

Digitized by

l'or et l'étain du Soudan et de la Bénoué sont en relation avec les roches cristallines primaires? C'est là un problème intéressant à tous égards, mais sur lequel il nous est impossible de nous prononcer. Sans doute, j'ai trouvé dans l'Ogooué, une diabase qui renferme 10 p. 100 de pyrite; mais dans la région voisine et dans la roche elle-même, il n'y a pas trace de cuivre. Néanmoins n'oublions pas que les gites primitifs du Congo sont des filons de sulfures complexes : réduits en un point au sulfure de fer, ils peuvent, près de là, nous réserver de plus précieuses richesses.

Enfin il convient d'attribuer à des éruptions tertiaires la limburgite, que nous avons rapportée de la pointe Ngombé, près de Libreville, de même que le basalte néphélinique et la liparite de Dombe-Grande, décrits par M. Choffat. Ces roches sont probablement en relation avec les sources salées et avec les puits d'huile minérale si fréquents au bord de la côte et qui pourraient, comme nous l'avons montré, constituer pour notre colonie de précieux éléments de prospérité. Ces pointements rocheux peu importants sont probablement synchroniques de la ligne des volcans qui comprend, outre le Caméroun et le Roumbi, les îles de Fernando-Po, du Prince, de Saint-Thomas, d'Annobon et de Sainte-Hélène. Tous ces épanchements récents sont alignés le long d'un grand cercle qui correspond évidemment à une importante ligne de fracture et qui forme avec l'équateur un angle de soixante degrés.

Une seconde ligne de fracture, symétrique de la première, comprend le cours du Niger à partir de son sommet, passe, elle aussi, par le Caméroun, suit le cours supérieur de l'Ogooué et aboutit à la dépression du Stanley-Pool. Nous voici donc en possession de deux lignes essentielles, formant, avec l'équateur, un triangle équilatéral. Il est naturel de chercher à en faire les éléments d'un

Digitized by Google

réseau dans lequel s'inscriraient les traits principaux de la géologie et de la géographie africaine. Et la forme des fleuves, qui présentent presque toujours un coude vers le nord avec deux branches symétriques, et celle des côtes, semblent se prêter à une pareille tentative, dans laquelle on ne peut chercher, il est vrai, la précision absolue, mais seulement une suggestive approximation.

Nous trouverons donc, pour former les lignes de notre réseau, les éléments suivants :

I. *Direction nord-nord-ouest :*

1) Mer rouge.
2) Lac de Rudolf ou Basso-Narok (au sud de l'Abyssinie). — Côte de la Tripolitaine et de la Tunisie.
3) *Cours inférieur du Zambèze.* — Lac Bangouélo. — Lac Moero. — *Congo supérieur.* — Chari. — *Lac Tchad.* — *Massif de l'Ahaggar.*
4) *Zambèze supérieur.* — *Stanley-Pool.* — Ogooué supérieur. — *Caméroun.* — *Niger inférieur.*
5) Côte occidentale du cap de Bonne-Espérance au cap Frio. — Cours supérieur du Sénégal.
6) *Sainte-Hélène.*

II. *Direction nord-nord-est :*

1) Rivage oriental de Madagascar.
2) Côte orientale d'Afrique.
3) Chapelets des lacs du Loualaba. — Lacs Albert-Édouard et Albert. — Lac Tana (Abyssinie).
4) *Stanley-Pool.* — *Congo.* — Oubangui. — Nil, près de la quatrième cataracte.
5) *Sainte-Hélène.* — Annobon. — Saint-Thomas. — Ile du Prince. — Fernando-Po. — *Caméroun.* — *Lac Tchad.* — Borkou (*). — Delta du Nil.
6) *Haut-Niger.* — *Ahaggar.* — Grande Syrte.
7) Côtes des Maures. — Atlas.

(*) Le massif d'Ahaggar et celui de Borkou sont, en plein Sahara, des pointements volcaniques tertiaires, peut-être même plus récents.

Digitized by Google

Il faut remarquer que ces deux dernières lignes sont plus inclinées que les précédentes sur les parallèles : ceci est probablement la conséquence du plissement alpin, qui a troublé l'équilibre du continent africain vers le nord-ouest, en lui donnant de ce côté comme une hypertrophie.

Nous avons inscrit en italique les points géographiques qui coïncident avec des nœuds (Tchad, Ahaggar, Stanley-Pool, Caméroun, Sainte-Hélène) et les fleuves dont deux directions différentes coïncident avec deux côtés de notre réseau (Zambèze, Congo, Niger). La région des lacs tout entière est comprise dans un même losange.

Enfin, il convient de joindre aux directions précédentes celle de l'équateur. Ainsi, les cours du fleuve Orange, du Limpopo, du Zambèze, du Congo, du Nil, etc., s'insèrent complètement dans des polygones formés par des grands cercles parallèles à ceux du réseau ou normaux au plan méridien moyen de l'Afrique ; les lacs Nyassa et Victoria Nyanza et la vallée du Nil sont sur un même grand cercle, qui joint trois sommets du réseau, etc., etc.

On pourrait accumuler les coïncidences, quitte à se faire illusion à soi-même et à fausser la vérité; nous ne poursuivrons pas plus avant dans cette voie dangereuse. Il nous suffira d'avoir établi que les fractures qui ont constitué les traits essentiels du grand plateau africain, c'est-à-dire d'une des parties les plus simples du globe, d'une de celles où l'on a le plus de chance de démêler les lois de la géogénie, peuvent être rapportées à un système réticulaire simple. Le grand continent, qui ne fut troublé que vers le nord-ouest par le plissement alpin, n'aurait-il pas obéi, dans sa longue période de sérénité, aux seules lois du cristal, éloignées sans doute de leur expression rigoureusement géométrique, par la complication interne qui se dissimule sous la couche uniforme des grès?

Digitized by Google

Ailleurs, les lois les plus simples peuvent échapper à notre perspicacité, masquées par les effets de lois partiellement antagonistes. Le physicien, dans ses expériences, élimine toute les causes, hormi celle qu'il étudie; le géologue ne saurait faire de même : la matière lui est imposée, telle quelle, dans toute sa complication. Mais ne serait-ce pas une grande force pour une hypothèse géogénique, de s'appliquer au plus simple des continents ?

M. Lowthian Green (*) a envisagé l'allure actuelle du relief terrestre comme une déformation tétraédrique de l'écorce primitivement sphérique et il a indiqué la prédominance, dans la région du Pacifique, de plusieurs systèmes de directions, qui coïncident assez bien avec les lignes d'un réseau ternaire. Les traces sur la sphère initiale des pointements tétraédriques qui correspondent aux continents, sont des triangles équilatéraux.

Un calcul très simple montre que, pour l'Afrique, le sommet du pointement correspondant se placerait vers les volcans du Borkou (**), en plein Sahara. Le peu d'importance du relief des continents par rapport au diamètre de la terre, nous oblige à admettre, dans l'hypothèse de M. Lowthian Green, que les terres se sont groupées, comme par cristallisation, autour d'un pointement initial, infiniment petit, dont la trace, considérée comme plane, est un triangle équilatéral à angles de soixante degrés. Ce triangle initial est justement l'élément du réseau que nous avons défini par des considérations uniquement tirées de la géologie et de la géographie. Et nous sommes heureux de dire, en matière de conclusion, que la théorie si séduisante de M. Lowthian Green, qui s'accorde si

---

(*) *Vestiges of the Molten Globe*, London, 1873.

(**) Il suffit de calculer l'angle sous lequel on voit, du centre de la sphère, un côté du tétraèdre, environ 110°.

bien avec les principes de la mécanique et de l'astronomie, peut recevoir, par l'étude du plus simple des continents, une nouvelle confirmation.

Paris, 17 octobre 1894.

NOTE I.

SUR LA GÉOLOGIE DU BASSIN DU NIARI.

Postérieurement à l'achèvement du mémoire qui précède, M. Marcel Bertrand, ingénieur en chef des mines, a publié dans la *Revue générale des sciences* (15 novembre 1894) un très intéressant article dans lequel il expose les résultats obtenus dans le bassin du Niari, par M. Regnault, ingénieur civil des mines, puis par MM. le capitaine Lamy et le Dr Alvernhe. Ces nouvelles recherches ont confirmé l'exactitude des traits essentiels que j'avais déjà établis (*), d'après les renseignements recueillis depuis plusieurs années dans la même région par MM. Cholet et Thollon. M. Regnault paraît avoir négligé les roches métamorphiques du Mayombe; en revanche, il signale l'importance d'une formation de schistes noirs et de quartzites dans laquelle il est impossible de ne pas voir l'équivalent du facies silurien non-métamorphique de l'Ogooué. Il est donc probable que l'on arriverait par des études de détail à saisir dans le Mayombe plus aisément encore que dans l'Ogooué, l'enchevêtrement des deux facies.

Les recherches de MM. Lamy et Alvernhe ont porté principalement sur les affluents de gauche du Niari, sur la limite inférieure de la formation calcaréo-schisteuse (dévonien); plissées dans le Congo, ces couches avaient été trouvées horizontales par MM. Cholet et Thollon dans le bassin du Niari; les nouvelles observations montrent qu'elles se relèvent dans les hauts affluents de gauche du Niari. Elles y forment des lignes de plis orientés est-ouest et comme les dernières branches de l'éventail tracé sur la carte de M. Dupont; seulement, un certain nombre de branches intermédiaires auraient été, d'après M. Marcel Bertrand, arasées et recouvertes par les grès rouges horizontaux qui for-

---

(*) *C. r. Acad. sc.*, 22 et 29 octobre 1894.

ment la ligne de partage entre les bassins du Niari et du Congo. Ces plis, convergeant vers la boucle du Niari, forment autant de voies de pénétration possibles, dont la plus septentrionale, celle du Niari, peut seule nous mener au centre de l'Afrique.

Nous avions déjà fait remarquer que la diminution de la zone cristallophyllienne vers le nord, en étendue et en cristallinité, permettait de franchir, par là, le massif ancien mis à nu par l'érosion, avec plus de facilité que dans le Congo. MM. Lamy et Alvernhe, et M. Marcel Bertrand, leur ingénieux et savant interprète, apportent un élément nouveau dans le débat : tandis que la voie belge doit recouper la majeure partie des plis de l'éventail dévonien, la voie française suivra l'un d'eux.

Il reste à déterminer comment la partie rétrécie de l'éventail se soude au massif de l'Ogooué (sans doute vers le bassin du Nianga). La question, intéressante au point de vue géologique, est d'ordre secondaire au point de vue industriel : le détour qu'il faudrait faire pour éviter les difficultés sérieuses du bas Niari (gorge de Koussounda), augmenterait sans doute beaucoup trop la longueur de la voie projetée.

D'après MM. Lamy et Alvernhe, les affleurements des gîtes de cuivre seraient disposés sur la bordure nord de l'éventail dévonien, au pied des premiers plissements, dans les hautes vallées des affluents de gauche du Niari. Le minerai ne se montrerait que dans la formation calcaréo-schisteuse. Ainsi, la venue métallifère, en partie masquée par les grès, formerait une bande de 100 kilomètres de longueur, entre la Loemba, affluent du Niari, et Mindouli ; elle serait antérieure au dépôt de ces grès.

Cette théorie est absolument opposée à celle que nous avons précédemment émise et d'après laquelle la venue cuivreuse serait en relation avec les éruptions de diabase, contemporaines elles-mêmes des grandes cassures qui ont dessiné le continent africain. En d'autres termes, la venue cuivreuse serait hercynienne, non post-triasique.

Cette nouvelle hypothèse, qui s'appliquerait aussi aux gîtes du Katanga, doit être mentionnée à côté de la nôtre. Les données sont encore trop incomplètes, M. Marcel Bertrand le constate lui-même, pour que la question puisse être définitivement tranchée. Il faudrait distinguer avec soin sur le terrain : les filons, les gîtes de substitution, les gîtes de remaniement (comme celui de Tchidounda, près de Loudima) et les gîtes sédimentaires.

21 novembre 1894.

Digitized by

NOTE II.

LE MOYEN CONGO ET L'OUBANGUI. — LA SANGA ET L'ADAMAOUA.

Nous avions d'abord limité notre étude à la région littorale du Congo français ; et nous n'avions dépassé le vaste marécage qui s'étend au confluent du Congo et de l'Oubangui que pour mentionner quelques roches rapportées par M. Dybowski de la route d'El Kouti, et analogues, par leur structure, à celles de l'Ogooué et du Kouilou. Après l'achèvement de ce premier travail, nous avons obtenu, sur les nouvelles extensions de la colonie, des renseignements assez complets pour que nous puissions essayer, dès maintenant, d'en esquisser les traits essentiels : M. Ponel, administrateur colonial, a bien voulu nous communiquer les notes et les échantillons qu'il a recueillis pendant un séjour de plusieurs années dans le moyen Congo et dans l'Oubangui, et tout récemment dans la Sanga et dans l'Adamaoua.

Moyen Congo. — Le moyen Congo commence au Stanley-Pool, où la région des cataractes est traversée ; la profondeur de ce lac atteint, d'après M. Ponel, jusqu'à 900 mètres en quelques points, soit environ la cote 600 au-dessous du niveau de la mer ; il faut donc l'envisager, non point comme un simple « étang », mais comme le résultat d'une importante fracture, située d'ailleurs, comme nous l'avons déjà fait remarquer, dans le prolongement du cours inférieur du Niger et des volcans du Caméroun.

En amont, apparaissent les quartzites décrits par M. Dupont et qui forment tantôt des falaises, comme les Dover Cliffs et tantôt des seuils, celui de Ntamo, par exemple. A Nganchou, un poudingue grossier leur est superposé, mais bientôt, au confluent de la Nkéni, commence la zone marécageuse, déjà marquée sur la carte de J. de Brazza. Les alluvions et la vase s'étendent autour des confluents de la Sanga, de la Likouala et de l'Oubangui, et jusque chez les Baloï, par 1°30′ de latitude nord ; c'est sur un îlot de poudingue, au milieu des marais, qu'est bâti le poste de Liranga, au confluent de l'Oubangui. La rive gauche apparaît d'abord plus nettement que la droite quand on remonte le Congo, elle est même accusée par quelques collines vers Tchoumbéri et Loukoléla ; mais, en amont, le marécage déborde brusquement, forme l'immense lac vaseux de Mantoumba, et se relie au lac Léopold II.

Digitized by Google

Si l'on ajoute que les alluvions s'étendent dans la Sanga et dans la Likouala-aux-Herbes jusqu'à la hauteur de Bania, vers le 4e degré de latitude nord, on voit qu'un résidu de lac très récent, encore presque entièrement submergé par les grandes crues, occupe l'intérieur d'une ellipse, dont le diamètre, orienté N. 30° O., suivant l'une des directions principales précédemment définies, ne mesure pas moins de 700 à 800 kilomètres, et le diamètre conjugué pas moins de 300 à 400 kilomètres.

Oubangui. — Vers le pays des Baloï (1°30' de latitude nord), le sol s'élève et les quartzites réapparaissent, plus ou moins ferrugineux et noyés dans l'argile, qui se trouve particulièrement fertile autour de l'ancien poste de Modzaka ; là se montrent aussi des blocs de limonite, exploités par les indigènes : c'est comme un nouveau Gabon, à 400 mètres plus haut que le premier et à 1.100 kilomètres dans l'intérieur (*).

A Nzinga-Mongomba (environ 4° de latitude nord), commencent les rapides qui s'étendent presque sans interruption jusqu'à Mokoangay, sur une étendue d'un peu moins d'un degré en latitude. Les seuils les plus importants sont ceux de Bangui, de Béli, de Boumindi et de Bouagba. Ils sont constitués par une roche blanche, laiteuse, pénétrée de veinules de malachite (?) et d'oxyde de fer.

D'après la détermination, faite par M. Stanislas Meunier, des échantillons rapportés de Bangui par M. Dybowski, cette roche est une granulite à grains fins, peu micacée. En outre, on trouve des argiles grises (kaolin ?) dans le fond des vallées, et toujours la même argile rouge et la même limonite sur les sommets.

Au delà de Mokoangay, dans tout le coude de l'Oubangui, les sables argileux apparaissent seuls, surmontés de larges plaques, atteignant parfois une surface de 1 kilomètre carré, de limonite pisolithique agglomérée. Au delà du coude, vers Banzyville ou Mobaye, on retrouve les seuils de granulite blanche ; ainsi, l'ensemble des filons forme une bande, large d'un peu moins de un degré, orientée est-ouest ; cette bande se prolonge vers l'ouest jusque dans le bassin de la Sanga, comme nous allons le voir. Au-dessus de Mobaye, à Séléma, le fleuve qui, en amont et en aval, a des largeurs d'environ 3.000 mètres, se précipite en un couloir large de 165 mètres et taillé dans les mêmes roches. D'après M. Ponel, c'est par cette

(*) Nous avons déjà signalé, dans notre aperçu géographique, cette répétition des facies, qui donne si peu de variété aux paysages africains.

faille que s'est déversé un lac supérieur, le lac du haut Oubangui, alimenté par les eaux de l'Ouellé et du Mbomou. Le confluent de ces deux cours d'eau, qui se réunissent aujourd'hui pour former l'Oubangui, est encore un vaste marécage, à la cote 650 environ ; et un cirque de collines, à parois abruptes, porte, en lignes très nettes, les étiages de cet ancien lac. Ainsi le bassin du Congo était probablement constitué, dans un âge géologique assez récent, par une série de vastes réservoirs superposés, peu profonds, limités par des arêtes rocheuses plus résistantes que les grès ; nous voyons encore les bassins se dessécher, à mesure qu'ils communiquent plus facilement entre eux : c'est, avec une amplitude dix ou cent fois plus grande, la même série de phénomènes que nous avons analysés à propos des biefs et des barrages de l'Ogooué.

Cette coupe, si intéressante de l'Oubangui, se complète par celle de la Kémo, affluent de droite de ce fleuve, situé au sommet du coude, et que M. Ponel a remonté jusqu'à 70 kilomètres du confluent : c'est de ce point extrême, où M. Dybowski avait déjà fondé un poste, qu'est partie la mission Maistre. Parmi les alluvions, les argiles, les sables, les blocs et les tables de limonite, M. Ponel a rencontré, à 35 kilomètres environ de l'Oubangui, deux systèmes de crêtes rocheuses (pics Banguéro et Tabri), analogues à celles que M. Dybowski venait de recouper dans sa marche sur El Kouti, sur les traces de l'infortuné Crampel.

Nous rappellerons que ces crêtes sont au nombre de trois, traversant un itinéraire dirigé du sud au nord et assez peu éloigné de la Kémo. Les roches provenant de Zouli, de Yabanda et du pic Crampel paraissent être des schistes micacés et feldspathisés, des leptynolites, des quartzites oligistifères (faux gneiss, faux micachistes, itabirites, itacolumites) produits par métamorphisme de schistes chloriteux et talqueux par la granulite et par la diorite. Ainsi, au nord de la grande bande métamorphique de Bangui, s'en étendent plusieurs autres, moins importantes, et qui paraissent, comme elle, dirigées de l'est à l'ouest.

Sanga. — Nous avons dit que toute la basse Sanga était entourée de marécages et d'alluvions ; le confluent de la Mambéré et de la Kadeï, qui, par leur réunion, forment cette importante rivière, l'île Comaza, où M. Mizon a rejoint M. de Brazza en 1892, ont encore les mêmes caractères géologiques ; il faut aller jusqu'à Bania, sur la Mambéré ou à la même latitude, sur la Kadeï, pour retrouver la bande granulitique et métamorphique de Bangui. Mais ici, le mica est plus abondant, les schistes micacés

l'emportent sur la granulite ; également fréquents à l'ouest, du côté de Gaza, sur la Kadeï, et à l'est, sur la rivière Bali, ils disparaissent au nord sur la Mambéré, mais la granulite persiste sur une étendue d'au moins 300 kilomètres, jusqu'au dernier point atteint par M. Ponel, vers le confluent de la Nana.

En outre de cette coupe de la Sanga et de la Mambéré, M. Ponel en a relevé deux autres. Dans une première exploration, il s'est dirigé de Bania vers le nord-est, jusqu'à la ligne de partage des eaux des bassins du Chari et du Congo, en traversant la rivière Bali (probablement la Likouala-aux-Herbes). A 210 kilomètres de Bania, il a rencontré des sommets assez élevés (monts Tongréla, 1.300 mètres) et des couches plissées de schistes micacés dont la direction générale est vers le nord-ouest : c'est la prolongation des saillies rocheuses de la Kémo, qui s'incurvent vers le nord et forment, avec celle de Bangui, une sorte d'éventail.

Adamaoua. — Enfin, M. Ponel, partant de Gaza, a atteint Yola, sur la Bénoué, en traversant la belle région de l'Adamaoua.

A Gaza même, les roches les plus fréquentes sont composées de quartz et de mica : ce sont des granulites et des schistes micacés rappelant certains types du Mayombe et des Monts de Cristal. Mais bientôt, dans le bassin de la Kadeï, apparaissent de nouvelles roches qui se présentent tantôt en larges ondes, glissantes, polies, tantôt en blocs limités par des arêtes vives et se dressant en pyramides, en menhirs, en rochers branlants, tantôt en masses arrondies simulant parmi les herbes, au clair de lune, des troupeaux d'éléphants. Le paysage, très pittoresque, souvent d'un caractère très sauvage, rappelle les Pyrénées ; parfois le sentier s'engage entre deux murailles à pic entre lesquelles un homme à cheval peut à peine passer. Le sol s'élève peu à peu et ces roches grises, à gros grains, prédominent encore à Zaria, à Tchakani, et jusqu'à la ligne de crêtes qui sépare le bassin de la Kadeï de celui de la Mambéré. Ces roches sont appelées « grès » par M. Ponel ; mais d'après la description qu'il en fait, il semble que ce soient plutôt des « granites », ou peut-être des roches éruptives plus récentes.

Entre Tchakani et Koundé, autour de Doka, le pays est moins accidenté, simplement vallonné, et ne présente plus d'autre roche que des argiles grises et rouges et du minerai de fer.

A partir de Koundé jusqu'à Niambaka, la route suit la ligne de partage des eaux entre les bassins de la Sanga et de la Sanaga, fleuve côtier dont l'embouchure est un peu au sud du

volcan de Caméroun. Le relief est accusé par des massifs réguliers de pics coniques; au milieu de l'argile ferrugineux, on retrouve des blocs des mêmes roches grises et de schiste micacé. C'est seulement au col de Niambaka que l'on peut voir des schistes gris non métamorphiques, en éboulis.

A Njankombol, sur la rivière Lom, affluent de la Sannaga, commence la première ligne des grandes montagnes qui forment le plateau central de l'Adamaoua : elles sont encore formées des mêmes roches grises; on les traverse par une série de gorges (Katil, Mandé, etc.). Au fond de la gorge de Katil et sur ses flancs, M. Ponel a trouvé une roche grise en dalles pentagonales; les couches sont dirigées nord-sud; un échantillon, provenant du pic de Katil, est un calcaire compact, analogue à ceux du Kouilou.

Après une seconde ligne de montagnes, dirigées est-ouest et de même composition, M. Ponel a rencontré, dans la rivière Tapari, une roche qu'il qualifie de « grès bigarré », qui se présente en grandes nappes et qui est probablement une roche éruptive du même groupe que les précédentes.

Le pays devient de plus en plus tourmenté et l'on atteint, autour de Ngaoundéré, l'Adamaoua central, caractérisé par les *ghendéros*, volcans ou groupes de volcans éventrés dans la direction sud-est. Au milieu de masses de pierres ponces et de coulées de laves, sont creusés des ravins à pic, qui traversent aussi des roches pentagonales en bancs (calcaires ?); *les roches grises* sont fréquentes : c'est un véritable chaos.

Deux échantillons provenant l'un de Marzia, auprès de Ngaoundéré, l'autre de la mare de Mazouan, à deux kilomètres de Dibi, vers le centre de la ligne des volcans, ne laissent aucun doute sur la constitution géologique du pays; le premier, qui appartient au type si important des *roches grises* est une roche andésitique; le second est un basalte bulleux qui forme une grande coulée, descendant du « Babal Nghendero ».

Ces *ghendéros* s'étendent jusqu'à la rivière Ibi, affluent de la Bénoué, à trois jours de marche de Yola. Le plateau central de l'Adamaoua est donc une région éruptive récente; néanmoins, M. Ponel aurait rencontré au village de Basselbé, à quatre jours de marche au nord de Ngaoundéré, un *vrai granite*. Les sommets de l'Adamaoua s'élèvent jusqu'à 2.800^{m}, puis de Ngaoundéré à Yola on descend rapidement en traversant trois cols.

Au delà de la région volcanique, on rencontre des schistes (?) non divisés en plaques, gris clair ou gris foncé. Le mica réapparaît à Boundan, qui domine la rivière Faro, à un jour de Yola.

Gisements métallifères. — Des mines d'étain existent au nord-ouest de Yola, à dix ou douze jours de marche, dans le Mouri et dans le Bassama. Le métal est apporté en grande quantité à la capitale, sous forme de paquets de fils de 2 millimètres de diamètre, très flexibles. M. Mizon m'a montré un échantillon de ces fils d'étain ; ils font entendre, quand on les tord, le *cri* caractéristique.

On extrait de la même région du sulfure d'antimoine cristallisé, précieux pour les médecins et pour les élégantes de l'Adamaoua.

Les Anglais exploitent une mine d'or à Voukari, près de Ibi, non loin du Niger.

Le cuivre, si abondant dans la région littorale du Congo français et dans le Katanga, paraît aussi exister dans la bande de terrains métamorphiques qui traverse le coude de l'Oubangui et la Sanga. Nous avons déjà signalé la granulite de Bangui, à filonnets de malachite (?). Un fait plus probant est que des dioptases analogues à celles de Mindouli ont été trouvées vers l'île Comazza, sur la rive droite de la Sanga.

Résumé. — En résumé, les nouveaux documents apportés par M. Ponel affirment encore la grande uniformité stratigraphique du bassin du Congo. La constitution de ce bassin, postérieurement à l'émersion du plateau africain, s'explique par l'assèchement progressif d'une série de réservoirs plus ou moins affaissés, placés à différentes altitudes et s'écoulant les uns dans les autres jusqu'à l'Océan ; les limites de ces divers réservoirs ne sont pas sans relation avec les crêtes rocheuses anciennes, cachées sous les grès et peu à peu dégagées par l'érosion.

Sur le pourtour du bassin, des massifs nettement émergés dès l'époque houillère, fortement arasés depuis, dessinent encore les reliefs primaires. L'un des plus intéressants est le massif de l'Adamaoua : son substratum est granitique et métamorphique, comme les Monts de Cristal, les monts Monamba, et la région du Katanga, et l'on y rencontre aussi des roches qui rappellent le dévonien du bas Congo : mais le tout a été traversé et en grande partie recouvert par de grandes éruptions, probablement tertiaires, et par des volcans sans doute plus récents encore.

Cette constitution du plateau de l'Adamaoua n'est pas sans analogie avec celle du plateau central de la France.

Port-Saïd, 17 janvier 1895.

BIBLIOGRAPHIE.

Sur les voyages de Lenz :

Dr O. Lenz. — *Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt.* Années 1874 à 1883.

— *Petermann's Mittheilungen*, vol. XXVIII, 1er cahier, 1882 (carte).

Dr L. Szajnocha. — *Denkschriften der k. Akademie*, Vienne, 1884 (Description des Ammonites d'Elobi).

Sur les voyages de Pechuel-Lœsche :

Dr Pechuel-Lœsche. — *Deutsche Rundschau fur Geographie und Statistik*, VIII Jahrgang, Heft 7. April 1886.

— *Das Ausland*, 1884. Nr. 21, 22, 24; 1885, Nr. 26.

— *Kongoland*, Iéna, 1887.

— *Petermann's Mittheilungen*, 1877.

Dr R. Küch. — *Tschermak's Mittheilungen*, Band VI, p. 94, 1884 (Description des roches du Dr Pechuel-Lœsche).

Sur les autres explorations :

Ossorio. — *Revista de Geographia*, Julio-Setiembre 1884.

Giacomo de Brazza. — *Bollettino della Societa Geographica italiana*, 1887.

Capitaine-commandant Zboïnski — *Bull. de la Soc. belge de géol. et d'hydrologie*, t. I, p. 29, 30, 56, 336.

— *Revue universelle des mines*, t. VI, p. 31.

E. **Dupont.** — Lettres sur le Congo. — Reinwald, Paris, *Bull. de la Soc. belge de géol. et d'hydrologie*, t. II, p. 44; t. III, p. 398.

Voir aussi :

St. Meunier. — *C. r. de l'Académie des sciences*, 11 juillet 1892 (Roches de l'Oubangui rapportées par M. Dybowski).

A. Le Chatelier. — *C. r. de l'Académie des sciences*, 24 avril 1893 (Sur le gisement de Dioptase du Congo français).

Consulter divers travaux sur la province portugaise d'Angola, au sud du Congo, principalement pour les fossiles crétacés et tertiaires :

J. J. Monteiro. — *Angola and the River Congo*, London, 1875.

Choffat. — *Comm. com. trav. géol. de Portugal*, t. II, p. 27.

Choffat et de Loriol. — *Mém. Soc. de physique et d'hist. nat. de Genève*, t. XXX, n° 2 (Matériaux pour l'étude stratigraphique et paléontologique de la province d'Angola).

Digitized by Google

De Loriol. — *Arch. des sc. phys. et naturelles*, t. XIX, n° 1.
Choffat. — *Bull. de la Soc. géol de France*, 3ᵉ s., t. XV, p. 154 (1886).
— *Bol. Soc. Geogr. de Lisboa*, 7ᵉ s., 1887.
P. de Loriol. — Note sur les échinodermes (*Recueil zoologique suisse*, t. IV, 1887).
Schlumberger. — *Bull. Soc. géol. de France*, 3ᵉ s., t. XVI, p. 402.
Schuster Max. — *Mitth. d. k. k. Geogr. Ges. in Wien*, t. XXX, p. 581.
Severo Ricardo. — *Rev. de sciencias naturaes e sociaes*, vol. I, n° 4.
Jose da Anchieta. — *Bol. Soc. de Geogr. de Lisboa*, 5ᵉ s.
St. Meunier. — *Bull. de la Soc. géol. de France*, t. XVI, p. 61.

Sur le Congo supérieur :

Dʳ J. Cornet. — *Petermann's Mittheilungen*, t. XL, cahier 6, p. 121 (Résultats géologiques de l'expédition de Katanga).

Enfin, sur les généralités concernant l'Afrique :

G. Gürich. — *Petermann's Mittheilungen*, 1887.
— *65ᵗᵉʳ, Jahresb. d. Schlesischen Ges. f. Vaterl. Cultur für* 1887, p. 221, 246.
— *Zeitschrift der deutschen geol. Ges.*, 1887, XXXIX, s. 96-135.
Suëss. — *Antlitz der Erde*, t. I, p. 461, 500, 767 ; t. II, p. 155, 636.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

CHAPITRE I. — Le Congo français 379

CHAPITRE II. — Explorations géologiques. 386

CHAPITRE III. — Formations littorales et superficielles 390

Crétacé. 391
Tertiaire. 395
Phénomènes volcaniques. 396
Argile. 397
Sables. 399
Dépôts post-pliocènes et actuels des fleuves. 399
Formations saumâtres actuelles. 400

CHAPITRE IV. — L'Ogooué 401

L'Ogooué, d'après M. Lenz. 402
Travaux de Jacques de Brazza. 404
Coupe détaillée de l'Ogooué jusqu'à Franceville. 406

1) Du cap Lopez à Njolé (bas Ogooué) 406
2) De Njolé à Lopé (pays des Okotas et des Apingis) . . . 409
3) De Lopé à Boué (pays des Okandais) 416
4) De Boué à Lastoursville (pays des Ossiébas) 419
5) De Boundgi à Doumé (pays des Adoumas). 420
6) De Doumé à Franceville (pays des Batékés) 422
Résumé. 424

Les Rapides et la chaîne côtière. 426
Coupe de Franceville à Njolé. 428

CHAPITRE V. — Le Congo. 434

Travaux de M. Pechuel-Lœsche 434
— M. Zboïnski 435
— M. Dupont. 436
Comparaison avec la coupe de l'Ogooué 438

Digitized by Google

Pages.

CHAPITRE VI. — Les monts de Cristal et la vallée du Niari . . . 442

Les monts de Cristal 442
Coupe de Njolé à Libreville par les sources du Como 443
Région intermédiaire entre le Congo et l'Ogooué 448
Coupe de Loango à Brazzaville, d'après MM. Cholet et Thollon . . 450
Comparaison avec la coupe du Congo 454

CHAPITRE VII. — Gites minéraux en métallifères. 455

Combustibles minéraux 455
Huiles minérales 456
Sel gemme. — Calcaires. 457
Gypse. — Fer 458
Manganèse. — Etain. — Or. 459
Zinc, plomb, argent. — Cuivre 460
La région de Mindouli 461
Le massif de Mboko-Songo. 464
Résumé 465

CHAPITRE VIII. — Conclusions 469

Archéen. 471
Précambrien et silurien. — Terrains métamorphiques. 473
Roches éruptives anciennes. 478
Dévonien et carbonifère. 479
Gites de cuivre 481
Plissement hercynien 481
Permo trias 484
Jurassique, crétacé, tertiaire, quaternaire 488
Erosion 491
Eruptions post-triasiques. — Lignes directrices de la géologie et de la géographie africaine 494

Note I. 499
Note II. 501

Bibliographie. 507

Digitized by

BULLETIN

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE LA SUÈDE.

Production des minerais de fer de 1861 à 1893.

ANNÉES	PRODUCTION	NOMBRE d'ouvriers	PRODUCTION par ouvrier
	tonnes		tonnes
1861-1865	453.486	5.001	90,7
1866-1870	542.323	4.581	118,4
1871-1875	784.707	6.439	121,9
1876-1880	721.232	4.883	147,7
1881-1885	874.123	6.210	140,8
1886-1890	930.037	6.257	148,7
1889	983.609	6.238	157,7
1890	940.429	6.335	148,4
1891	985.255	6.223	158,3
1892	1.291.933	7.564	170,8
1893	1.481.487	7.510	197,3

Production de la fonte de 1861 à 1893.

ANNÉES	PRODUITS		PRODUCTION totale
	bruts	moulés	
	tonnes	tonnes	tonnes
1861-1865	199.375	5.451	204.826
1866-1870	261.810	6.044	267.854
1871-1875	326.510	5.946	332.456
1876-1880	350.414	6.810	357.224
1881-1885	423.176	6.201	429.377
1886-1890	441.876	4.702	446.578
1889	416.043	4.622	420.665
1890	451.443	4.660	456.103
1891	486.680	4.233	490.913
1892	478.696	6.968	485.664
1893	447.362	6.059	453.421

Digitized by Google

Production du fer et de l'acier depuis 1889.

ANNÉES	FERS	ACIERS			
		Bessemer	Martin	Au creuset	Total
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1889	226 071	80.324	55.487	513	136.324
1890	225.632	91.247	72 985	646	167.878
1891	224.651	92.985	78 197	707	171 889
1892	235.426	82.422	76.556	617	159 595
1893	225.532	84.398	81.889	558	166.845

Il s'agit ici des massiaux ou fers bruts et des lingots d'acier. La production des fers et aciers marchands s'est élevée au total de 293.036 tonnes en 1892 et de 288.317 tonnes en 1893. Cette dernière quantité se divise de la manière suivante :

Produits ouvrés, spéciaux, bandages, etc.	59,8 p. 100.
Lingots et massiaux, vendus tels	40,2 —

Production des minerais métallifères autres que ceux de fer depuis 1889.

	1889	1890	1891	1892	1893
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Minerais d'or.	980	1.458	2.680	3.463	2 451
— de plomb et d'argent. .	16.577	14.986	15.041	19.803	21.053
— de cuivre	19.952	20.670	21.883	24.069	22.033
— de cobalt.	266	145	241	53	101
— de zinc.	59.381	61.843	61.591	54.981	46.623
— de manganèse.	8.645	10.698	9.080	7.832	7.061
— de nickel.	289	616	483	»	»
Pyrites de fer	158	1.135	1.659	1.249	480

Production des métaux autres que le fer depuis 1889.

	1889	1890	1891	1892	1893
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Or	73,6	87,7	109,6	87,6	93,4
Argent	4.293,8	4.554,9	3.658,9	5.210,6	4.464,6
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Plomb	254	310	299	799	462
Litharge.	»	42	21	3	10
Cuivre.	579	617	543	745	544
Cobalt.	6	7	6	7	3

Digitized by Google

Production des combustibles minéraux depuis 1889.

Années.	Tonnes.
1889	186.719
1890	187.512
1891	198.033
1892	199.380
1893	199.933

RÉSUMÉ DE LA PRODUCTION MINÉRALE ET MÉTALLURGIQUE POUR L'ANNÉE 1893.

1° *Substances minérales.*

	Tonnes.
Combustibles minéraux	199.933
Minerais de fer	1.481.487
— de cuivre	22.033
— de plomb et d'argent	21.043
— de zinc	56.623
— de manganèse	7.061
— d'or	2.441
— de cobalt	101
Pyrites de fer	180

2° *Métaux.*

			Tonnes.
Fonte			453.421
Fers bruts	au bois	223.744	225.532
	puddlés	1.788	
Acier	Bessemer	84.398	166.845
	Martin	81.889	
	au creuset	558	
Cuivre			544
Plomb			472
Cobalt			3
			kilogr.
Or			93
Argent			4.465

(*Extrait de la* Sveriges officiela Statistik.)

Digitized by Google

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE ET MÉTALLURGIQUE DE LA PRUSSE EN 1893.

1° *Mines et Salines.*

SUBSTANCES MINÉRALES	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Houille	67.657.844	541.613.990	8,00
Lignite	17.553.482	54.677.393	3,11
Asphalte	11.290	170.872	15,13
Pétrole	1.365	180.035	131,89
Minerai de fer	4.007.899	29.699.908	7,41
— de plomb	148.442	16.552.683	111,51
— de cuivre	573.712	21.997.389	38,34
— de zinc	787.019	17.564.914	22,32
— d'or et d'argent	12	91.832	7.652,65
— de manganèse	39.132	481.324	12,30
— de cobalt	204	41.779	204,80
— de nickel	652	39.827	61,08
— d'antimoine	15	369	24,60
— de mercure	1	123	123,00
— d'arsenic	1.634	80.488	49,25
Pyrites de fer	110.072	949.250	8,62
Soufre	1.871	234.485	125,32
Sel	527.205	9.778.621	18,55

2° *Usines.*

MÉTAUX	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX MOYEN
	tonnes	francs	fr. c.
Fonte	3.539.702	202.304.838	57,15
Cuivre	20.707	24.822.838	1.198,76
Plomb	85.866	20.501.603	238,76
Zinc	142.773	58.085.847	406,84
Etain	909	1.622.567	1.785,00
Manganèse	45	120.970	2.688,23
Cobalt	44	936.350	21.280,00
Nickel	893	4.077.450	4.566,00
Antimoine	362	196.299	542,26
Arsenic	710	157.142	221,32
	kilogr.		
Or	739	2.527.437	3.420,00
Argent	276.645	35.789.324	129,37

(*Extrait de la* Zeitschrift für das Berg, Hütten, u. Salinen-Wesen, im Preussischen Staate.)

NOTE

SUR LES

APPAREILS DE FERMETURE DE RECETTES

EMPLOYÉS

DANS LES MINES DU PAS-DE-CALAIS

Par MM. FÈVRE et WEISS, Ingénieurs des mines.

La circulaire ministérielle du 2 mai 1892 a prescrit à toutes les compagnies houillères de munir, dans un délai de deux ans, toutes les recettes des puits de barrières mobiles capables d'empêcher la chute des hommes et du matériel et pourvues de dispositifs tels que la fermeture des barrières soit assurée tant que la cage n'est pas à la recette.

En vue de répondre aux prescriptions de la circulaire ministérielle, les compagnies houillères du Pas-de-Calais ont installé divers systèmes de fermeture, dont nous nous proposons de décrire dans la présente note quelques types particulièrement intéressants.

Barrière de la Société des mines de Lens.

1° Au jour : les barrières sont constituées par des cadres en fer à treillis pouvant glisser latéralement dans deux rainures. Ces barrières sont soulevées par la cage

Digitized by Google

quand elle arrive à la recette et reviennent automatiquement fermer le puits quand la cage redescend.

Elles répondent donc complètement aux prescriptions de la circulaire ministérielle du 2 mai 1892.

2° Au fond : les accrochages sont doubles : côté des pleins, côté des vides (Pl. XV, *fig.* 1 à 4). Chaque côté est fermé par une barrière formée d'un cadre en fer pouvant tourner autour de son côté supérieur AB. La fermeture effective du puits soit par la cage, soit par les barrières, est assurée grâce à un système d'enclenchement qui se résume comme suit :

1° Les taquets de jour sont enclenchés par le câble de la sonnerie du fond;

2° Le levier de la sonnerie du fond G (*fig.* 1 et 4), lequel se trouve à l'accrochage côté des pleins, est enclenché à la fois par les deux barrières des pleins et des vides, de telle sorte qu'on ne peut sonner qu'autant que les deux barrières sont fermées;

3° Le levier de la sonnerie enclenche de son côté les deux barrières, de telle sorte qu'on ne peut ouvrir les barrières qu'autant que le levier se trouve dans la position où les taquets du jour sont immobilisés par l'enclenchement. Voici comment se fait la manœuvre :

La cage arrive sur les taquets X, les deux barrières sont fermées; le levier de sonnerie doit être dans la position relevée G qui enclenche les taquets du jour (s'il ne l'était pas par suite d'oubli, ni le chargeur ni le receveur des vides ne pourront ouvrir les barrières, attendu que la barre CD viendrait heurter le levier G, et le chargeur des pleins devra tout d'abord placer le levier dans la bonne position et du même coup enclencher les taquets de jour).

Supposons donc le levier bien placé.

Le chargeur des pleins soulève sa barrière et accroche la barre CD à un petit crochet E (*fig.* 1) qui maintient

Digitized by Google

la barrière ouverte. Dans cette position la barre CD vient se placer sous le levier G de la sonnerie qui se trouve immobilisé par la petite barre H fixée latéralement à la barrière (*fig.* 4). Le receveur des vides ne peut maintenir sa barrière ouverte et accrochée comme celle des pleins s'il n'a, au préalable, poussé une tige Z (*fig.* 1) terminée par un verrou *y*, lequel verrou vient immobiliser pour son compte, en V, le levier de sonnerie G; la barrière du petit accrochage est en effet munie d'un taquet K qui vient butter contre la tige Z lorsqu'elle n'est pas poussée (*fig.* 1 et 3). Si, pour revenir à l'hypothèse précédente, le chargeur des pleins n'avait pas relevé le levier G, le receveur des vides ne pourrait pousser à fond le verrou, et par suite ne pourrait maintenir sa barrière ouverte.

On voit donc que, la cage étant sur les taquets, les barrières ne peuvent être maintenues ouvertes qu'autant que les taquets du jour sont enclenchés; on est ainsi assuré qu'aucun mouvement intempestif de la cage ne se produira au cours de la manœuvre.

On procède ensuite au chargement de la cage; quand le chargeur des pleins a terminé, il ferme sa barrière en rendant la liberté au levier de sonnerie.

Mais si le receveur des vides n'a pas fini, le levier est encore enclenché. Il faut, pour qu'il soit complètement libre, que le receveur des vides ferme d'abord sa barrière, ce qui lui permettra ensuite de retirer la tringle Z du verrou d'enclenchement *y*.

Les deux barrières étant fermées, le chargeur des pleins abaisse le levier de sonnerie G, donne ainsi au jour le signal du départ et en même temps rend libres les taquets du jour. Le machiniste met donc en route, et dès que la cage a quitté l'accrochage, le chargeur relève le levier de sonnerie en enclenchant de nouveau les taquets du jour.

Les barrières restent fermées pendant tout le temps de la course, car il n'y a aucune raison pour les ouvrir.

Cependant une disposition très simple permet d'empêcher que les barrières puissent être abandonnées ouvertes pendant l'ascension de la cage. Cette disposition consiste à immobiliser, pendant tout le temps que la cage n'est pas à l'accrochage, les crochets E qui servent à retenir la barre CD. Quand, au contraire, la cage se trouve à l'accrochage, elle appuie sur un petit levier L par l'intermédiaire duquel la liberté est rendue au crochet.

On peut donc bien ouvrir la barrière au cours de l'ascension, mais on ne peut l'accrocher, et dès que celui qui l'a ouverte la lâche, elle se referme d'elle-même.

En résumé :

Le chargeur du fond ne peut donner le signal du départ qu'après avoir fermé les barrières ;

Il ne peut ouvrir les barrières qu'après avoir enclenché les taquets du jour ;

Il ne peut les fixer dans la position ouverte que lorsque la cage se trouve sur les taquets du fond.

Ce système à enclenchement, qui fonctionne depuis deux ans à différentes fosses de la compagnie des mines de Lens, est très remarquable par la simplicité et la solidité de ses organes.

Il présente sur les barrières automatiques les avantages suivants : la barrière reste fermée jusqu'à ce que la cage soit posée sur les taquets ; elle est ouverte pour la manœuvre des berlines et fermée à nouveau avant que le mécanicien au jour ne puisse mettre sa machine en marche ; on évite ainsi le danger résultant d'une erreur du mécanicien et d'une manœuvre intempestive de la cage, ce qui est difficilement réalisable à l'aide de barrières à guillotine.

Dans la plupart des fosses de la compagnie de Lens, les cages à deux étages sont reçues au fond sur des taquets hydrauliques qui permettent de faire les manœuvres sans l'intervention du machiniste du jour.

Digitized by Google

L'enclenchement des barrières et du levier de sonnette est complété, dans ce cas, par l'enclenchement des taquets hydrauliques qui s'effectue de la manière suivante. Supposons les barrières fermées et la cage descendante sur le point d'arriver sur les taquets hydrauliques. Il est nécessaire, pour recevoir la cage, que les taquets X (*fig.* 1, 2) soient en place aussi bien du côté des pleins que du côté des vides et que, d'autre part, le robinet R (*fig.* 2) qui admet l'eau dans les cylindres soit fermé pour que les taquets ne s'enfoncent pas sous le poids de la cage. A cet effet, les deux barrières sont enclenchées avec les deux sommiers de taquets et avec le robinet, de telle sorte qu'on ne peut les manœuvrer qu'autant que les taquets sont tous deux en haut de leur course et le robinet fermé.

Pour arriver à ce résultat, le bout D de la tringle DC est immobilisé par un petit crochet I (*fig.* 2) tant que tout n'est pas en règle du côté des taquets; c'est ce crochet qui est enclenché et qui se soulève en rendant la barrière libre, quand les taquets et le robinet sont dans la position voulue.

Cette disposition complète heureusement l'enclenchement des barrières et du levier de sonnette, et a donné en pratique de très bons résultats.

Barrière automatique de la Société des mines de Dourges.

La barrière se compose essentiellement d'une barrière et d'un contrepoids, mobiles tous deux le long de deux guides inclinés en fer rond, d'une poulie sur laquelle passe une chaine assez pesante reliant la barrière à son contrepoids et d'un fort ressort faisant fonctionner un doigt qui vient enclencher la barrière fermée (Pl. XVI, *fig.* 1 et 2). L'appareil forme une balance en équilibre

Digitized by Google

quand la barrière est soulevée à 1 mètre de hauteur au-dessus de la recette; dans ces conditions, il suffit de déplacer le contrepoids sur ses guides pour que la chaîne, par son poids, entraîne le mouvement dans un sens ou dans l'autre.

Supposons donc que la cage arrive sur les taquets de l'étage où se trouve la barrière, le ressort est aplati par une pièce de bois fixée sur la cage et le doigt se retire; le chargeur d'accrochage saisit une poignée fixée sur la barrière et la soulève avec un très faible effort; l'équilibre est rompu et le contrepoids descend le long des guides; comme les guides sont inclinés, il arrive un moment où les deux équerres dont est muni le contrepoids viennent reposer sur le toit de la cage.

On peut alors remplacer les berlines vides par les berlines pleines et sonner le départ; la cage, en s'élevant, pousse devant elle le contrepoids jusqu'à ce que les équerres s'échappent. Mais la force vive acquise suffit pour faire descendre la barrière sur la recette et, à ce moment, celle-ci se trouve enclenchée à nouveau par le doigt qui est revenu à sa première position.

La barrière ne pourra plus s'ouvrir avant un nouvel encagement à ce niveau.

Systèmes Catrice.

Dans la brochure qu'il a publiée en 1893, M. H. Catrice, ingénieur civil, a fait connaître plusieurs systèmes de son invention. Deux d'entre eux ont été appliqués dans le Pas-de-Calais. Nous les décrirons succinctement en renvoyant, pour les autres, à cette brochure (*).

Le premier, installé à la fosse n° 4 des mines de Liévin,

(*) *Fermetures automatiques de barrières pour recettes de puits de mines*, par M. H. Catrice, ingénieur-industriel, à Arras. Lille, imprimerie G. Dubar et Cie, 1893.

Digitized by Google

est fondé sur l'emploi de l'air comprimé. Il comporte, pour chaque ouverture de l'accrochage, un cylindre *aa* de $0^m,20$ de diamètre, muni d'un piston fixé à une tige *h* de $1^m,400$ de course (voir Pl. XVI, *fig.* 3 à 6).

La tige *h*, de $0^m,040$ de diamètre, est reliée à la barrière B, d'une hauteur de $0^m,90$, s'arrêtant à $0^m,10$ du sol, formant ainsi en élévation une protection de 1 mètre.

Les barrières B coulissent dans un fer à U pour les côtés extérieurs et un fer à double T servant de guide aux deux barrières au centre de l'accrochage.

Un tuyau en cuivre débouche au bas du cylindre *a* sous le piston et aboutit au tiroir *b*, qui se trouve toujours à la position de décharge, grâce à la particularité qui seule le différencie du tiroir à vapeur et qui consiste en un petit piston *c* adapté sur la tige et qui a pour but de présenter une surface suffisante pour que la pression de l'air le ramène toujours, après le départ de la cage, dans la position de décharge.

Un patin *d* en fonte boulonné sur un fer à U *p* auquel est adapté le tiroir et qui est placé contre le faux guide extérieur maintient une lame d'acier *e* formant ressort.

Cette lame est libre, mais guidée à son autre extrémité par une semelle *d'*.

Les dimensions sont les suivantes : longueur $1^m,500$ largeur $0^m,07$, épaisseur $0^m,007$.

Le centre de la lame s'appuie sur la tige du tiroir sans exercer toutefois de pression sur elle.

Un écrou en bronze *f*, qui termine la tige du tiroir, permet de régler à volonté l'admission de l'air.

Le fonctionnement du système se comprend aisément : lorsque la cage arrive à l'accrochage, le fer à U, qui se profile le long de la cage et qui sert à la guider au passage des accrochages contre les faux guides et dont l'âme est munie sur toute sa longueur d'une semelle en bois afin de ménager l'usure de la lame *e*, vient faire

pression sur cette lame, de façon à lui donner une flèche de $0^m,025$ et conséquemment une admission d'autant au tiroir.

Dans ces conditions, l'air fait monter la barrière B, qui redescend ensuite par son propre poids, lors du départ de la cage, à une vitesse que l'on peut régler par l'ouverture que l'on donne au robinet à deux voies *g*, qui peut servir en même temps à faire descendre la barrière dans le cas où, pour une raison quelconque, l'on voudrait l'abaisser pendant que la cage se trouve sur les taquets.

Le robinet *g* peut également fermer la communication entre le tiroir et le cylindre et empêcher ainsi le fonctionnement de la barrière aux accrochages intermédiaires.

Les barrières pouvant coulisser le long des tringles qui les relient à la barre d'attelage, il suffit, dans les cas particuliers de passage de grandes pièces, lorsque le piston est en haut de sa course, de continuer à les rehausser à la main et de les maintenir avec les broches que l'on place dans des trous percés à cet effet le long des fers à U et à T qui les guident.

Dans le second système, appliqué à la même fosse, la barrière est simplement enclenchée par un verrou constamment fermé tant que la cage ne se trouve pas à l'accrochage et que cette dernière efface lors de son arrivée à la recette.

Dans ce dispositif comme dans le premier (Pl. XVI, *fig.* 7 à 9), les barrières BB coulissent dans les fers à U disposés le long des faux guides prolongés et sont reliées à une chaîne *c* passant dans la gorge d'une poulie *d* fixée entre la paroi du puits et le guide.

Un contrepoids *e* glissant le long de deux guides en fer *ff* équilibre les barrières, en laissant toutefois du côté de celles-ci un excédent de poids de 10 à 15 kilo-

grammes, de façon qu'elles puissent descendre d'elles-mêmes.

g est le verrou dont les *fig.* 8 et 9 donnent le détail. Ce verrou est mis en mouvement par la lame de ressort *h*, qui, sous la pression de la cage, fléchit de $0^m,03$, appuie sur la tige du verrou *g*, également munie d'un écrou en bronze *i* pour le réglage et, dans ce mouvement, fait faire à la pièce *g* oscillant sur le pivot *k* la double manœuvre du retrait du verrou en *n* et l'avancement de l'autre extrémité en M destinée à maintenir la barrière suspendue tout le temps de la manœuvre.

Tant que la cage n'est pas à la recette, l'ouverture du verrou est impossible, maintenu qu'il est par un puissant ressort à boudin R; mais dès qu'elle arrive dans le cadre de l'accrochage, le ressort R cédant sous la pression de la lame *h*, le verrou se retire, le chargeur peut alors lever sa barrière de $1^m,20$ jusqu'à ce qu'elle se trouve enclenchée en M.

Dès que la cage se retire, le verrou *g*, sollicité par le ressort R, reprend sa position de fermeture en *n*. La pièce *g* s'efface en M et la barrière descend d'elle-même.

Les quatre angles de la barrière sont munis de galets qui aident à la faire coulisser et en même temps à passer sur les extrémités du verrou M et *n*, qui sont articulées dans le sens voulu pour permettre le passage de la barrière, soit qu'elle se lève, soit qu'elle s'abaisse.

Une plaque de garde *o*, disposée sur la barrière à l'angle supérieur du côté du verrou, sert à la protéger contre toute tentative d'ouverture.

Ces barrières fonctionnent bien, mais demandent, surtout la première, assez d'entretien et de surveillance. Elles exigent un guidage bien dressé et sont exposées à se déranger dans les puits où se produisent des mouvements de terrain. La première, quand elle est installée aux accrochages intermédiaires, présente en outre l'in-

Digitized by Google

convénient de se soulever plus ou moins complètement au passage de la cage, à moins que l'on n'ait pris la précaution de fermer le robinet *g*.

Système de la Compagnie des mines de Béthune.

Les *fig.* 3 à 6, Pl. XVII, représentent en plan, élévation et profil, le système adopté aux mines de Béthune. Les deux barrières sont articulées respectivement autour des axes A et A′. L'une est supposée fermée et l'autre ouverte.

La cage, arrivant à la recette, agit sur la touche T, et pousse par son intermédiaire et celle de la tige *tt′* l'œillet *o* d'enclenchement, que traverse l'axe A.

Cet axe, au-dessous de son pivot supérieur, présente une partie élargie P, venue de forge, dont la surface annulaire supérieure *s* pénètre dans une encoche pratiquée intérieurement à l'œillet et constitue ainsi un arrêt, qui maintient la barrière dans la position de fermeture. Car, en tournant pour s'ouvrir, la barrière s'élève forcément d'une certaine hauteur, son pivot inférieur étant solidaire de galets *gg′* qui roulent sur un rampant hélicoïdal.

Quand la cage se présente à la recette, l'œillet d'enclenchement, déplacé par elle, dégage l'arrêt en question. Le chargeur d'accrochage peut alors ouvrir la barrière, qui s'élève tout en tournant.

Dans ce mouvement, le verrou à ressort *v* vient prendre sur un ergot *e*, qui fait corps avec l'œillet, et maintient la barrière dans la position d'ouverture.

Dès que la cage se retire, elle abandonne la touche T. L'œillet *o*, rappelé à sa position primitive par un ressort en spirale R, subit un premier mouvement de recul, qui a pour effet de faire lâcher par l'ergot *e* le verrou de retenue V. La barrière, obéissant alors à la pesanteur et

Digitized by Google

à l'action du ressort de rappel R′, tourne sur elle-même en descendant sur le rampant hélicoïdal. Au moment où elle se ferme, la surface *s* de la partie élargie de l'axe A descend au-dessous de l'encoche pratiquée dans l'œillet *o*. Ce dernier, toujours sollicité par le ressort R, achève son mouvement de recul, et vient enclencher de nouveau la barrière dans la position de fermeture.

Le crochet *c* n'a d'autre but que d'assurer la fermeture ordinaire de la barrière, au cas où le système serait dérangé et ne fonctionnerait pas automatiquement.

Le fonctionnement des barrières de ce type, installées depuis plusieurs mois à la fosse n° 6 des mines de Béthune, paraît satisfaisant. Le mouvement de fermeture est toutefois un peu lent.

Système de la Compagnie des mines de Nœux.

Ce système, inventé par M. Guenez, directeur des ateliers de la Compagnie des mines de Nœux, n'a pas encore subi l'épreuve de la pratique. On peut craindre que son fonctionnement ne soit quelque peu délicat, et n'exige un guidage bien dressé et l'absence de mouvements de terrain.

Il est fondé sur un double enclenchement de la barrière et du levier de la sonnerie, réalisé de telle sorte que le chargeur d'accrochage ne peut ouvrir la barrière, à la main, que quand la cage est à la recette, et doit la refermer pour pouvoir envoyer le signal de départ.

Deux grandes lames A et A′ (voir *fig.* 1 et 2, Pl. XVII), pouvant pivoter dans les supports *c* et *c′*, sont placées, à chaque accrochage, sur les côtés du puits ; ces lames comprennent trois zones *aa′*, *a′b* et *bb′*; les zones extrêmes *aa′*, *bb′* offrent chacune une surface hélicoïdale, tandis que la zone *a′b* est plane.

Un coulisseau B est fixé à hauteur de l'étage supérieur

Digitized by Google

des cages et ce coulisseau est placé de telle façon que dans l'ascension comme dans la descente de la cage, il parcourt la lame A et fait tourner l'arbre vertical dd' d'un angle égal à celui développé par l'hélice ; mais, pendant le temps qu'il parcourt la partie $a'b$ de la lame, il n'y a pas rotation de l'arbre dd', et cette partie $a'b$ correspond à l'intervalle des deux étages de la cage, qui peuvent être amenés successivement à la hauteur du plat sans que l'arbre dd' ait bougé.

En haut de l'arbre dd' est calée une double manette mm', qui, par l'intermédiaire des tiges nn' pp' et des manettes q et q', communique un mouvement de rotation aux arbres R et R′, sur lesquels sont calés les secteurs S et S′. Des ressorts en spirale M ramènent constamment dans leurs positions primitives les arbres R et R′ et dd' dès que la cage n'agit plus sur ce dernier.

Les barrières, qui sont articulées aux points O et O′, sont tenues fermées par les crochets T et T′, qui portent en bas une saillie s, venant s'appuyer sur un tasseau h et maintenant le crochet horizontal, et en haut une autre saillie t, derrière laquelle passe le secteur S.

Ce secteur S est échancré en e et quand le coulisseau de la cage parcourt la partie $a'b$ de la lame A, cette échancrure se trouve en regard de la saillie t, et le crochet T peut être soulevé ; le préposé à l'accrochage peut donc ouvrir sa barrière.

En passant à l'accrochage, le cordon de sonnette est remplacé par une tringle rigide fg passant dans des glissières ll' fixées au guide du milieu. Cette tringle est reliée au levier de sonnerie u et à une manette v de l'arbre E ; elle porte en outre, calés sur elle, trois disques i, j, k. L'autre cordon de sonnette, passant derrière le guide de milieu opposé, est monté de la même façon et il est rendu solidaire du premier par les arbres E et E′, les manettes vv', $v_1v'_1$ et la tringle $v'v'_1$.

Digitized by Google

Enfin les barrières sont munies de plaques en tôle xx', $x_1x'_1$, portant une rainure pour laisser passer la tringle de la sonnette; dès que l'on ouvre les barrières, ces plaques s'engagent entre les disques *i*, *j*, *k*, et il n'est plus possible de sonner.

Il résulte de cet ensemble de dispositions que, d'une part, la barrière ne pourra être ouverte que quand la cage, en se posant sur les taquets, aura fait tourner le secteur S, de manière qu'il présente son échancrure *e* en face de la saillie *t* du crochet.

D'autre part, la barrière étant ouverte, les sonneries seront enclenchées et aucun signal ne pourra plus être transmis aussi longtemps que la barrière ne sera pas refermée.

Une disposition complémentaire permet d'ailleurs de placer en dehors du parcours du coulisseau fixé à la cage, la lame hélicoïdale qui commande cette fermeture.

Cette disposition est la suivante :

Sur l'arbre *dd'* est fixée une autre manette α, qui est reliée à une autre β, fixée sur l'arbre R, par une tige αβ ; sur ce même arbre R est fixé un levier *y*, que l'on peut allonger au moyen d'une douille et qui permet à un homme de forcer sur les ressorts et d'amener la lame dans la position A_1 indiquée en pointillé sur le dessin. Un œillet 2 ménagé sur le levier vient dans cette position correspondre à un œillet fixé en 3, et une cheville passée dans les deux maintient tout le système en place.

Dans cette position de la lame, les secteurs sont restés derrière les saillies *t* des crochets, et les barrières ne peuvent être ouvertes.

NOTE

SUR UN

GISEMENT DE PYRITE ARSENICALE AURIFÈRE

DANS LE DÉPARTEMENT DE MAINE-ET-LOIRE

Par M. P. L. BURTHE, Ingénieur civil des mines.

M. Desvaux a signalé en 1834 (*) un gisement de pyrite de fer arsenical, au lieu dit le *Petit-Montrevault*, sur la commune de Saint-Pierre-Montlimart, canton de Montrevault, arrondissement de Cholet. Des excavations à ciel ouvert ont été pratiquées sur ce gisement à une époque inconnue, mais assez reculée pour que tout souvenir ait été perdu de leur destination. M. Devaux les attribue aux Gaulois, et, du fait qu'il y a trouvé un morceau de galène adhérent à la pyrite arsenicale, conclut qu'autrefois existait en ces lieux une mine de plomb ou de plomb argentifère exploitée pour l'argent. Par une singulière contradiction, immédiatement après avoir émis cette hypothèse, il rappelle que les Gaulois ne recherchaient que l'or, le cuivre et l'étain.

Ces excavations sont certainement antérieures à l'époque du moyen âge; car le château du Petit-Montrevault, dont les ruines sont encore très reconnaissables, a été bâti sur une éminence formée des déblais des

(*) *Statistique du département de Maine-et-Loire*, p. 228-241.

Digitized by Google

excavations, et des chroniques authentiques lui donnent comme constructeur Foulques Nerra, comte d'Anjou et comme date de construction l'an 1030. Mais quand on a étudié les anciennes excavations du Limousin et de la Marche, que M. Mallard a signalées et décrites en 1862 et dont il a démontré à la fois l'âge antérieur à l'occupation romaine, et le but qui était l'exploitation de l'or et de l'étain, on ne conserve plus aucun doute sur les excavations de Saint-Pierre-Montlimart : elles doivent remonter à la même époque et être attribuées à des mineurs contemporains de ceux qui travaillaient dans ces régions du centre.

Quant au but de ces travaux, l'examen des minerais et des quartz, qui sont encore abondants dans les déblais, m'a donné de suite à penser que le métal exploité était, non point le plomb argentifère, mais l'or. Ces matières ont tous les caractères extérieurs des minerais arsenicaux aurifères exploités aux États-Unis et en Australie ; leur ressemblance avec les mispickels aurifères du Cantal est frappante.

Les essais, faits au bureau d'essai de l'École des mines aussi bien que dans des laboratoires particuliers, ont confirmé ce pressentiment : tous les échantillons de mispickel massif que j'ai recueillis ont rendu des quantités d'or variant de 5 à 310 grammes par 1000 kilogrammes. Même des quartz, où aucune particule métallique ou minéralisée n'était visible, ont rendu à l'essai des traces d'or.

Dans aucun échantillon, je n'ai pu distinguer d'or à l'état natif. Je n'ai pas réussi davantage à découvrir la moindre trace d'étain ni par l'analyse, ni par les lavages à la pelle après grillage.

Je suis donc porté à croire que la destination de ces fouilles était l'exploitation d'un gisement aurifère dont les anciens mineurs ont enlevé les affleurements et les

minerais de surface oxydés, où l'or pouvait être à l'état natif, jusqu'à ce qu'ils rencontrassent les minerais sulfureux et arsenicaux dont le traitement difficile les a arrêtés.

On voit ici une nouvelle preuve de l'expérience bien connue des Gaulois dans le travail des mines, et elle m'a paru particulièrement intéressante à citer parce qu'elle montre qu'à une époque reculée on a su reconnaitre et exploiter des gisements métalliques dans cette région occidentale de la France, actuellement considérée comme n'en renfermant qu'un très petit nombre.

Les excavations sont situées, à flanc de coteau, à l'est de Saint-Pierre-Montlimart, entre l'église de ce village et le hameau du Petit-Montrevault, qui en est distant d'environ 500 mètres et dont les maisons bordent les deux côtés de la route départementale de Montrevault à Chalonnes. Elles s'étendent sur une longueur de près de 1.200 mètres, dans la direction générale du sud-ouest au nord-ouest. Elles ont la forme de grandes fosses elliptiques, le grand axe de l'ellipse étant orienté vers le Nord 60°-70° Est (magnétique). Les déblais sont rejetés à l'entour des fosses et particulièrement sur leur flanc sud.

Les excavations les plus importantes sont comprises dans un triangle dont la base est la route de Montrevault à Chalonnes et dont les deux autres côtés sont la route départementale de Saint-Pierre-Montlimart à Beaupréau et le chemin de grande communication de Saint-Pierre à la Salle-Aubry. Ce sont les fosses du Verger et du château, actuellement séparées par le chemin de Saint-Pierre au Petit-Montrevault. La fosse du Verger, comprise dans la propriété du même nom, forme aujourd'hui une pièce d'eau de 50 mètres de longueur sur 30 de largeur. Son bord septentrional, taillé presque à pic, montre bien les roches en place; son bord méridional est formé des déblais de la fouille. C'est sur ce bord et dans ces

Digitized by Google

déblais qu'on trouve le plus abondamment des échantillons de mispickel massif et de quartz blanc laiteux sillonné de veinules de ce minerai. La fosse du château a plus de 100 mètres de longueur sur 60 de largeur; le fond en est marécageux. Ses déblais forment, au sud de la fosse, une butte considérable sur laquelle a été bâti le vieux château féodal; ils sont composés de schistes; le quartz y est peu abondant et je n'ai pas réussi à y trouver du minerai. D'après la disposition des lieux, il ne paraît pas douteux qu'autrefois les deux fosses ne devaient en faire qu'une, ayant plus de 150 mètres de longueur sur une largeur moyenne de 50 mètres.

A 15 mètres environ au sud-ouest de la fosse du Verger s'ouvre une autre excavation dont la plus grande longueur ne dépasse pas 30 mètres, mais dont la profondeur atteint plus de 18 mètres. Il paraît très probable que l'exploitation ancienne a porté sans interruption sur toute l'étendue comprise entre l'extrémité sud-ouest de cette dernière fosse et l'extrémité nord-est de la fosse du Château, c'est-à-dire sur une longueur de 200 mètres au minimum.

Au sud-ouest du triangle ci-dessus indiqué on trouve de petites tranchées superficielles, peu importantes, sur une distance d'environ 100 mètres.

Au nord-est, les fouilles se sont étendues jusqu'au ruisseau de la Bellière, au delà duquel on ne retrouve plus aucun travail. Elles sont recouvertes de taillis touffus (Bois-des-Sœurs) qui en rendent l'accès assez difficile. Sur une longueur de 250 mètres, à compter du chemin vicinal de Saint-Pierre à la Salle-Aubry, elles forment deux lignes à peu près parallèles de petites tranchées peu profondes, dont la plus septentrionale se termine par une fosse de dimensions notables. Sa voisine aboutit, à la hauteur du hameau Saint-Thomas, à une grande fosse, comparable comme dimensions à celles du Verger et du

Digitized by Google

Château, et profonde de 10 à 12 mètres. Une grande tranchée, de 15 mètres de profondeur, s'en détache dans la direction Nord 70° Est, et se termine près du moulin des Trois-Oies. Dans toute cette région des fouilles, on ne voit, sur les travaux ou dans leurs déblais, que des quartz blancs, quelquefois légèrement teintés d'oxyde de fer, en fragments de la grosseur du poing, à angles vifs, paraissant avoir été cassés au marteau.

Il me paraît très vraisemblable que ces excavations ont été ouvertes sur un filon de quartz, chargé de mispickel aurifère dont la direction serait orientée sur le Nord 70° Est (magn.). Comme ce filon n'est pas visible en place, on ne peut juger de sa puissance. M. Desvaux estime à $0^m,30$ au minimum l'épaisseur de sa partie minéralisée, non compris la gangue quartzeuse, d'après les morceaux de mispickel massif de pareilles dimensions qu'il a trouvés dans les déblais.

Je n'en ai pas vu d'aussi considérables, mais j'en ai facilement trouvé d'aussi gros que le poing.

Ce filon est probablement accompagné d'un filon qui le suit à petite distance et parallèlement en faisant avec lui un angle de 10° au plus. On voit en effet sur le flanc nord de la fosse du Verger un gros quartz en place que l'on retrouve sur le chemin de Saint-Pierre au Petit-Montrevault. En ce dernier point, il est à 6 mètres au nord de l'axe des fosses du Verger et du Château. Il plonge vers le sud sous un angle de 75°. Il est très nettement encaissé et est formé, du mur au toit, par une masse quartzeuse, avec fleurs arsenicales oxydées, de $0^m,90$ de puissance, suivie d'une bande de schiste très quartzeuse de $1^m,30$, puis de $0^m,30$ d'argile blanche enveloppant des noyaux de quartz. C'est probablement à ce second filon qu'on doit rapporter la ligne septentrionale des fosses du Bois-des-Sœurs. L'importance moindre des travaux de cette ligne indiquerait que

Digitized by Google

ce filon a été moins riche que celui exploité sur la ligne méridionale des excavations.

La roche encaissante de ces filons est un schiste de transition argileux, de couleur grise ou jaunâtre, assez tendre et peu feuilleté. A en juger par son aspect sur les bords de l'Èvre et du ruisseau de la Bellière, ses bancs sont puissants et peu inclinés sur l'horizon. Nulle part on ne voit de roches éruptives.

Les fouilles de Saint-Pierre-Montlimart ne sont pas les seules de la région. On en trouve d'autres, moins importantes, dans les localités suivantes :

1° A la Rioté, ferme située sur la commune de la Salle-Aubry, à 3 kilomètres, à vol d'oiseau, au sud-est de Saint-Pierre, on voit une grande tranchée de 50 mètres de longueur sur 10 de largeur et 5 de profondeur, orientée sur le Nord 70° Ouest (magn.), dans les déblais de laquelle on trouve des morceaux de quartz blanc, et plus abondamment, des petits fragments d'un quartz noir bleuâtre, tout différent du quartz blanc de Saint-Pierre. Aucun indice de minerai. Il est visible que les fouilles anciennes s'étendaient sur une longueur plus considérable et que les travaux de culture l'ont diminuée et la diminuent chaque jour.

2° Près de la Minière, habitation située à 1.500 mètres au nord-est de la Rioté, il existe encore, dans un petit bois, trois fosses alignées sur le Nord 60° à 65° Ouest (magn.), profondes de 4 à 5 mètres et mesurant ensemble environ 80 mètres de longueur. On n'y trouve pas de minerai, mais on voit encore à l'extrémité occidentale des fouilles un gros massif de quartz blanc en place, lambeau probable du filon autrefois exploré.

3° A 2 kilomètres au sud de Saint-Pierre, entre les habitations connues sous les noms de la Godinière et de Brégolles, il reste des traces évidentes d'anciennes

fouilles aujourd'hui remblayées et presque nivelées par les travaux des champs.

4° Enfin, je signalerai, à 1 kilomètre au sud des points précédents, au moulin de Pralles, sur les bords de l'Èvre, une veine quartzeuse, mouchetée de pyrite de fer et de pyrite cuivreuse, teintée par places de carbonates bleus et verts de cuivre. Elle est puissante de $0^{m},50$ environ, orientée un peu à l'ouest du nord (magn.) et encaissée dans des schistes argileux, compacts.

Les anciens ne l'ont pas touchée.

Digitized by Google

NOTE

SUR LA QUESTION DES POUSSIÈRES

EN ANGLETERRE

Par M. L. AGUILLON, Inspecteur général des mines.

Les théories poussiéristes ont généralement prévalu en Angleterre. On en pourrait donner des raisons étrangères au sujet lui-même. Mais c'est au sujet que nous entendons nous borner dans l'exposé que nous voudrions faire des résultats du travail d'une Commission royale (*), instituée, le 9 février 1891, pour l'étude spéciale de la question et dont le rapport final a été déposé le 13 juin 1894.

La Commission a recueilli et publié les dépositions détaillées de trente-neuf témoins comprenant à peu près tous les ingénieurs ou savants d'Angleterre, dont l'opinion pouvait avoir quelque intérêt dans la question,

(*) Présidée par M. J. Chamberlain, membre du Parlement, ancien président du *Board of Trade*, la Commission comprenait, outre le président, cinq personnes familiarisées avec le sujet : lord Rayleigh, professeur de physique à Cambridge; sir W. Thomas Lewis, un des principaux ingénieurs des mines du Sud du Pays de Galles; M. Dixon, professeur de chimie et de métallurgie à l'*Owen's College* de Manchester; M. Pemerson Bainbridge, un des principaux ingénieurs des mines du Nord de l'Angleterre; M. Charles Tenwick, membre du Parlement, ancien ouvrier mineur et représentant du parti ouvrier dans cette Commission, suivant la coutume pratiquée en Angleterre en pareil cas.

ou du moins qui pouvaient prétendre à quelque connaissance, pratique ou scientifique, du sujet.

La Commission a repris la discussion des grands accidents survenus en Angleterre dans ces dernières années et que l'École poussiériste de ce pays avait attribués sans hésitation aux poussières (*). Pendant qu'elle siégeait sont survenus quatre explosions (**) que la Commission a fait étudier sur place par ses délégués. Elle a enfin disposé de nouvelles expériences sur les poussières, entreprises par M. Henry Hall, Inspecteur royal des

(*) Ce sont les accidents donnés dans le tableau suivant :

NOMS des mines	DISTRICTS	DATE de l'accident	NOMBRE de tués
Seaham	Durham	8 sept. 1880	164 (1)
Risca	Soulth-Wales	15 janv. 1882	4 (2)
Altofts	Yorkshire	20 oct. 1886	22
Elemore	Durham	2 déc. 1886	28
Udston	Écosse (Est)	28 mai 1887	73
Hyde	Staffordshire (Nord)	18 janv. 1889	23

(1) Nous avons rendu compte de cet accident dans les *Annales des mines*, 1881, 7e série, t. XX, p. 209.
(2) Tout le personnel était hors de la mine.

(**) Ces quatre explosions sont les suivantes :

NOMS des mines	DISTRICTS	DATE de l'accident	NOMBRE de tués
Sladderhill pit à Apedale	Staffordshire	2 avril 1891	10
Malago-Vale	Bristol	31 août 1891	10
Park-Slip à Rhondda	South-Wales	26 — 1892	112
Camerton	Radstock	13 nov. 1893	2

Peu après la clôture des travaux de la Commission survenait, le 23 juin 1894, une explosion à la mine d'Albion (South-Wales), qui a fait 290 victimes. M. le professeur Dixon, qui avait procédé à une enquête des quatre accidents précités pour la Commission des poussières, a été chargé par le gouvernement d'une enquête officielle sur cette nouvelle catastrophe. Il a également conclu à un accident de poussières survenu dans des circonstances qui rappelleraient celles de l'accident de Seaham.

mines pour le district de Liverpool, et que celui-ci a poursuivies et étendues à la demande de la Commission (*).

Les conclusions franchement poussiéristes de la Commission ne seront peut être pas pour s'imposer à ceux qu'on qualifie d'anti-poussiéristes. Comme élément nouveau la Commission n'a guère eu que les expériences précitées de M. Hall. Sans nier leur intérêt, il est permis de trouver qu'elles ne diffèrent guère, au point de vue de la solution rationnelle et définitive de la question, de celles de la Commission prussienne à Neunkirchen.

Au fond les conclusions de la Commission ressemblent quelque peu à la décision d'un arbitre qui se prononcerait entre les dires de deux séries de témoins opposés, par lui entendus. Des questions scientifiques de cet ordre ne se résolvent pas par un interrogatoire et un vote émis à la majorité des voix. Quand Galilée annonça la rotation de la terre, il avait contre lui l'universalité des témoignages : *e pure si muove*, a-t-il pu dire seul avant que tout le monde le répétât après lui.

Aussi bien il faut reconnaître, ainsi que la Commission l'a dit quelque part sans avoir cherché toutefois à dissiper le malentendu, que la division entre les poussiéristes et les anti-poussiéristes, comme on le dit, est plus apparente que réelle, parce qu'on ne s'accorde pas sur le sens et la portée de certains mots. Même après les travaux de Mallard et de M. Le Chatelier, on confond souvent l' « inflammation », et la lenteur relative de sa vitesse de propagation, avec l' « explosion » caractérisée tant par la grandeur de cette vitesse que par un accroissement de pressions d'où résultent les dégâts particulièrement graves qu'elle occasionne nécessairement.

Qu'il y ait eu à l'origine « inflammation » locale et

(*) Nous donnons à l'Annexe n° 2 le résumé de ces expériences.

restreinte, qu'il y ait eu « explosion », il se peut que, dans certaines circonstances, les conséquences de l'une ou de l'autre paraissent comparables quant au nombre des victimes et à l'étendue sur laquelle elles ont été frappées. Mais, dans les cas où il y a simplement inflammation, il faut soigneusement examiner si la catastrophe ne résulte pas de causes plus générales, extrinsèques au fait générateur, de vices ou lacunes graves de l'aérage par exemple, ou encore d'insuffisances notoires dans le mode et la solidité des installations.

Nous avons ici même (*Annales*, 8e sér., t. XVII, p. 548) cité un exemple topique de l'importance pratique de pareilles distinctions, plus utiles encore dans les exploitations anglaises peut-être que dans toutes autres, à l'occasion de l'accident survenu le 5 septembre 1889 dans la mine de fer de Mauricewood. Par suite de l'inflammation, restée tout d'abord inaperçue, d'une simple toile d'aérage, soixante-trois personnes périrent, soit, à deux ouvriers près, l'effectif entier de la mine qui ne laissait pas d'être assez étendue.

Malgré les réserves qu'il parait donc permis de formuler au sujet des conclusions de la *Royal Commission on explosions from coal-dust in mines*, il n'est pas moins intéressant d'en étudier le travail, ne fût-ce que comme expression de l'opinion actuellement la plus répandue en Angleterre; ces idées paraissent à la veille, du reste, de provoquer de la part de l'administration anglaise de nouvelles mesures réglementaires.

§ I

OBSERVATIONS ET CONCLUSIONS SUR LE RÔLE DES POUSSIÈRES

Avant de formuler ses conclusions, la Commission a exposé, en un résumé méthodique, les opinions dévelop-

Digitized by Google

pées devant elle et dit son propre avis sur les quatre points suivants dans lesquels se condense pour elle la théorie des poussières (*the coal-dust theory*) :

I. La présence du grisou seul est insuffisante pour expliquer plusieurs explosions.

II. Les poussières seules, sans aucun mélange de grisou, peuvent, une fois allumées, produire une explosion dangereuse.

III. Une explosion de grisou peut être accrue et indéfiniment étendue par suite de la présence des poussières.

IV. Du grisou, en proportion assez faible pour ne pas donner lieu à une explosion, devient inflammable lorsqu'il est mêlé avec des poussières.

Sauf une réserve sur le second point en ce qui concerne le mode nécessaire de l'inflammation primordiale, la Commission a fait siennes ses quatre propositions en s'appuyant, pour chacune d'elles, sur les observations suivantes.

I. — *La présence du grisou seule est insuffisante pour expliquer plusieurs explosions.*

a) Les distances parcourues par certaines de ces explosions sont énormes, comme à Seaham où elles ont été de 6.400 mètres (*);

(*) Si l'on veut bien se reporter au récit et à la discussion par nous présentés (*Annales des mines*, 1881, 7ᵉ série, t. XX, p. 209) de l'accident de Seaham, on reconnaîtra que s'il est établi que l'inflammation a eu lieu en un point qui est resté incertain, mais qui a dû se trouver dans les galeries d'entrée d'air et au voisinage du puits, il a été également établi que les flammes n'ont exercé d'action certaine que dans un rayon relativement fort restreint de ce voisinage. Sans doute des ouvriers ont péri en grand nombre à des distances de plusieurs kilomètres du point d'inflammation; mais ils n'ont pas été brûlés;

b) Il n'y a généralement pas d'indications que les ouvriers aient pris l'alarme au préalable, ainsi qu'ils n'auraient pas manqué de le faire en cas d'envahissement par le grisou ;

c) Les effets de l'explosion s'exercent invariablement vers les parties déhouillées et ne viennent pas de ces régions d'où le grisou devrait provenir ;

d) On ne peut découvrir après l'accident aucune trace d'un dégagement exceptionnel de gaz, d'un *outburst ;*

e) Si l'explosion était due au gaz, ce serait une étrange coïncidence que, comme c'est généralement le cas, l'explosion se produisît toujours dans des circonstances lui permettant de s'étendre jusqu'au puits d'entrée d'air (*) ;

f) La diramation de l'explosion entre galeries concourant en un même point, tend à montrer que l'explosion suit les voies les plus poussiéreuses et non celles où la présence du gaz serait la plus probable ; ainsi sont atteintes spécialement les voies d'entrée d'air qui, servant au roulage par chevaux, sont très poussiéreuses, et sont, au contraire, épargnés les retours d'air ;

g) Dans ces explosions, on ne relève aucun dégât important dans un rayon de 50 à 80 mètres de l'origine de l'inflammation, alors que, en cas d'explosions de gaz,

---

ils sont morts asphyxiés, et lentement pour la plupart, par suite de la suspension de l'aérage. Sans doute aussi des éboulements ont eu lieu à de grandes distances ; c'est le résultat de la commotion et point l'indice de la projection des flammes sur de tels parcours. Bref, c'est, suivant nous, une pure pétition de principe, qui n'est basée sur aucun fait dûment établi, que de prétendre qu'à Seaham il y a eu extension des flammes sur les distances aujourd'hui avancées par l'école poussiériste.

(*) La Commission paraît entendre par là, qu'en cas d'explosion de grisou, on ne doit retrouver de traces de l'inflammation des gaz que là où il y en avait avant l'accident. On peut citer nombre d'accidents où les flammes se sont certainement propagées bien au delà de pareilles régions, par ce qu'on peut appeler le phénomène du « jet de chalumeau ».

Digitized by Google

l'effet devrait se faire sentir violemment tout de suite (*);

h) Beaucoup d'explosions ont eu lieu dans des mines éclairées encore à feu nu, et il ne paraît pas qu'on puisse admettre que, dans ces conditions, la mine entière eût pu être atteinte par une explosion de gaz.

A ces observations, on ajoute :

a) Toutes les grandes explosions ont eu lieu dans des mines sèches et poussiéreuses;

b) L'explosion est d'autant plus violente que la poussière est plus pure et plus fine;

c) Les explosions coïncident avec le tirage, heureusement rare, de coups de mines dans les entrées d'air, où l'on ne peut trouver du gaz qu'en très petite quantité, mais qui contiennent la poussière la plus inflammable de la mine.

II. — *La poussière seule, sans mélange de grisou, peut, enflammée, produire une explosion dangereuse.*

En ce qui concerne tout d'abord les causes pouvant produire l'inflammation originaire, la Commission, sans contester la possibilité d'enflammer, dans certaines circonstances spéciales, un nuage de poussières au contact d'une flamme de lampe à feu nu, considère cette éventualité comme si improbable qu'il ne lui a pas paru qu'elle dût être retenue et qu'elle demandât quelques précautions.

L'inflammation par les coups de mines ne paraît pas pouvoir être contestée. Sans que les cas soient très nom-

(*) Encore que nous ne voulions pas rapprocher de chaque affirmation de la Commission la réponse que les anti-poussiéristes lui ont généralement opposée, en Angleterre déjà, nous ne pouvons nous empêcher de faire remarquer ici que la Commission paraît avoir oublié l'expérience classique du tube de Mallard et Le Chatelier et la différence des effets suivant le point d'inflammation dans le tube.

Digitized by Google

breux, plusieurs ingénieurs ont cité des inflammations assez fréquentes survenues dans des circonstances telles qu'on ne peut pas ne pas les attribuer aux poussières seules. Dans les cas ainsi relevés par l'enquête, l'inflammation aurait été produite non pas seulement par des coups ayant fait canon, mais aussi par des coups surchargés ou ayant insuffisamment travaillé (*).

En dehors des enseignements tirés de l'étude des accidents survenus dans les mines, la Commission voit, dans les récentes expériences de M. Hall, une démonstration de la théorie d'après laquelle les poussières seules peuvent provoquer une violente explosion lorsqu'elles sont suspendues et enflammées par un coup faisant canon (**).

Vainement les anti-poussiéristes objectent-ils que si les coups de mine faisant canon devaient déterminer des explosions dans les mines sèches et poussiéreuses, c'est tous les jours qu'on devrait en relever (***) ; la Commission répond qu'il faut en réalité pour engendrer de pareils phénomènes un concours de circonstances assez rares : des poussières suffisamment pures, fines et sèches, de

---

(*) Il n'est pas pas toujours bien facile de distinguer, d'après les renseignements donnés par les déposants, entre le coup ayant fait franchement canon et le coup surchargé. M. Th. Bell, l'inspecteur royal pour le Durham, a, par exemple, rapporté un cas d'inflammation de poussières à Brandon, en 1884, tout à fait net et dans des circonstances bien classiques, avec court parcours de flammes et faible importance des dégâts. Il a indiqué, et la Commission a admis avec lui, qu'il y avait eu surcharge et non coup ayant fait canon; et cependant si l'on se reporte à sa description, dont nous avons donné une traduction intégrale (Annexe n° 1), on serait porté à admettre plutôt la solution inverse. Au reste, du coup ayant fait canon au coup surchargé, il semble n'y avoir qu'une question de mesure; la différence peut ne pas être toujours facile à fixer.

(**) Les expériences de M. Hall font l'objet de l'Annexe n° 2.

(***) On estime à 20.000.000 le nombre de coups de mines tirés annuellement dans les houillères anglaises, soit 66.000 par jour.

Digitized by Google

nature explosible, en quantités suffisantes au point où le coup de mine fait canon dans une situation appropriée; d'autre part, une flamme suffisamment volumineuse et intense et projetée avec violence contre les poussières. On ajoute que c'est surtout aux fronts de taille qu'on fait usage des explosifs et que là il y a moins de poussières, qu'elle est plus grossière, moins pure, plus mouillée.

A ceux qui objectent qu'une inflammation de poussières ne peut, en tout cas, pas se prolonger au delà d'une distance relativement fort courte, la Commission oppose l'enseignement résultant de l'accident survenu à la mine de Camerton le 13 novembre 1893 (*) et dont les effets se seraient étendus à 1.100 mètres du coup de mine qui l'a provoqué. La Commission observe d'ailleurs que si cette mine avait pu être exploitée depuis cent ans, en parfaite sécurité, la raison en est dans les circonstances différentes de celles d'aujourd'hui : les voies sont plus longues et par suite les wagons à claire-voie laissent tomber plus de poussières; la ventilation plus énergique rend les galeries plus sèches et les poussières plus aisément inflammables; les machines à perforer percent des trous de 47 millimètres, c'est-à-dire de plus grand diamètre et elles ont conduit à employer des charges de poudre plus considérables.

De cette discussion, la Commission conclut sans hésitation qu'un coup de mine faisant canon peut, sous certaines conditions, déterminer dans une mine l'explosion la plus dangereuse, en l'absence complète du grisou ou si le grisou ne s'y trouve qu'en quantités insignifiantes; et si la Commission reconnaît que le danger varie considérablement avec la composition des poussières, elle déclare ne pouvoir dire s'il est une mine absolument à

(*) Cet accident fait l'objet de l'Annexe n° 3.

Digitized by Google

l'abri à cet égard, et dont les propriétaires puissent être valablement dispensés de prendre les préventions nécessaires. Du reste, alors même que la Commission eût admis, avec la minorité des témoins entendus, que les poussières seules ne peuvent pas produire une explosion, elle aurait eu toujours à signaler le danger sérieux résultant de ce que les poussières propagent et étendent une explosion due exclusivement au grisou à l'origine.

III. — *Une explosion de grisou peut être accrue et indéfiniment propagée par les poussières.*

Après avoir rappelé les observations des poussiéristes et des anti-poussiéristes sur cette question, adoptant la théorie connue de sir Frederick Abel et s'appuyant sur les résultats des accidents de Seaham (8 septembre 1880), Risca (15 janvier 1882), Altofts (20 octobre 1886), Elemore (2 décembre 1886), Udston (28 mai 1887), Hyde (18 janvier 1889) tels que les interprètent les poussiéristes, la Commission déclare adopter à l'unanimité la proposition sus-rappelée.

IV. — *Du grisou, en quantité trop faible pour être explosible, le devient lorsqu'il est mêlé aux poussières.*

Ce sont les théories de sir Frederick Abel et de M. Galloway que la Commission a cru devoir s'approprier purement et simplement, en y ajoutant cette observation :

« Comme il y a toujours quelque peu de grisou dans la grande majorité des houillères d'Angleterre, le danger particulier qui ressort de cette proposition doit être tenu en sérieuse considération. Il est évident que les précautions qui seraient prises contre le tirage des coups de mine ne feraient pas disparaitre la cause de danger ; elle ne pourrait être supprimée que par des dispositions pro-

pres à empêcher le soulèvement des poussières ou à le rendre sans danger. »

Ces diverses remarques sur ces quatre propositions ont amené la Commission à présenter ainsi ses conclusions :

1° Le danger d'explosion dans une mine contenant du grisou même en faible quantité est considérablement accru par la présence des poussières.

2° Une explosion de gaz dans une mine grisouteuse peut être accrue et indéfiniment étendue par les poussières soulevées par l'explosion.

3° Les poussières seules, en l'absence de toute trace de gaz, peuvent causer une explosion dangereuse si elles sont allumées par un coup de mine ayant fait canon ou par toute autre violente inflammation. Toutefois, ce résultat ne peut se produire que dans des conditions exceptionnelles qui ne peuvent vraisemblablement se rencontrer que dans de rares occasions.

4° Les poussières sont inflammables et partant dangereuses à divers degrés; mais on ne peut dire avec certitude qu'il y ait des poussières ne présentant aucun danger.

5° Il ne paraît y avoir aucune probabilité qu'une explosion dangereuse de poussières seules puisse jamais être produite dans une mine par une lampe à feu nu ou une flamme ordinaire.

§ II.

MESURES DE PRÉCAUTION.

Les faits établis, la Commission a passé à l'étude des moyens propres à faire disparaître ou à atténuer les dangers admis.

Digitized by Google

stemming) (*) et développa une flamme qui brûla légèrement l'ouvrier placé du côté du puits et beaucoup plus sérieusement ceux du côté opposé, surtout deux d'entre eux, sans enflammer toutefois la poudre de leurs flasques.

Une grande quantité de poussière cokifiée recouvrait les parois ; il y en avait moins en couronne.

Les traces de coke s'étendaient à 18 mètres du côté des puits et à 35 mètres du côté opposé allant en s'atténuant de plus en plus à partir du coup.

La commotion fut perçue au puits, et, dans la mine, par deux ouvriers occupés à 1.100 mètres de distance. Leurs lampes furent éteintes et ils vinrent aux renseignements.

Les seuls dommages consistèrent dans l'arrachement d'une toile d'aérage à 140 mètres de distance et dans l'enlèvement du crépissage des barrages sur 250 mètres de longueur.

ANNEXE N° 2.

EXPÉRIENCES DE M. HALL SUR LES POUSSIÈRES.

Les expériences de M. Hall ont été faites dans les conditions suivantes.

On disposait d'un puits vertical de 46 mètres de profondeur et de $2^m,14$ de diamètre. Des madriers de bois horizontaux de $1^m,83$ de long et de $0^m,125$ de large étaient implantés de chaque côté du puits, de haut en bas, à une distance de $1^m,83$ les uns des autres, de façon à représenter le boisage d'une voie souterraine.

(*) Dans son rapport, rédigé immédiatement après l'accident, M. Bell indiquait donc nettement le coup comme ayant fait canon ; dans l'enquête il l'a mentionné et la commission l'a considéré comme un coup surchargé. (V. p. 542, 1re note.)

Digitized by Google

L'aérage était assuré par un ventilateur à main, soufflant dans des tuyaux de tôle, de $0^m,25$ de diamètre; l'extrémité de ces tuyaux s'arrêtait à $1^m,53$ du fond du puits. Le courant était d'environ un tiers de mètre cube par seconde.

On descendait et on fixait verticalement au fond du puits, par une chaîne en fer passant sur une poulie, un canon en fer forgé de $0^m,90$ de long avec une âme de $0^m,050$ de diamètre et $0^m,61$ de longueur représentant le trou de mine. La charge était invariablement de 679 grammes de poudre noire ordinaire avec bourrage en poussière de charbon sur $0^m,30$ de hauteur.

Le canon était toujours chargé au jour et descendu par la chaîne au fond du puits, en son centre, où il était tenu verticalement.

L'allumage se faisait à l'électricité.

La charge était supérieure à celles habituellement pratiquées, lesquelles dans le Lancashire notamment sont de 550 grammes environ; on voulait ainsi reproduire le cas de la flamme résultant de l'explosion d'une petite quantité de grisou. D'ailleurs la bourre était simplement posée et non fortement chassée, comme dans la pratique, en sorte que la projection des flammes devait être infiniment moins violente.

Pour tirer avec des explosifs détonants, on s'est servi d'un tube en fer avec bourre en poussière de houille, dans la crainte de briser le canon.

Les expériences, qui ont duré douze jours, commençaient chaque matin par deux coups à blanc, de 900 grammes de poudre, afin de permettre aux assistants d'apprécier ensuite plus sûrement, par comparaison, l'influence des poussières.

Chaque échantillon de poussières était d'abord essayé *en suspension*, c'est-à-dire que le coup était tiré lorsque la poussière, jetée de l'orifice, flottait encore dans le

puits (*). Si une explosion survenait dans ces conditions, on faisait une nouvelle expérience *au repos*, c'est-à-dire quinze ou vingt minutes après le jet de poussières, de façon à les laisser déposer sur les bois et au fond du puits.

On jetait à chaque fois 100 kilogrammes de poussières, dont 36 environ se logeaient sur les bois.

Entre deux expériences, on tirait plusieurs coups à blanc pour revenir au point.

On jugeait de l'explosion par la violence de la commotion et par la hauteur des flammes au-dessus de l'orifice.

Les expériences ont porté sur des échantillons recueillis dans les travaux de 45 houillères correspondant à 36 couches, depuis les anthracites et les charbons à vapeur du pays de Galles (à 16 p. 100 de matières volatiles) jusqu'aux houilles flambantes de la Forêt de Dean à 42 p. 100 de matières volatiles.

Du tableau de ces expériences, M. Henry Hall a cru pouvoir déduire les conclusions et observations suivantes :

1) La flamme d'un coup chargé de poudre noire, qui fait canon, enflamme *toujours* une certaine quantité de poussières et, par suite, allonge la flamme et accroit les effets du coup. Cela résulte de ce que, dans tous les cas où il n'y a pas eu explosion, le câble électrique a néanmoins été brûlé sur plusieurs mètres alors qu'il ne l'était pas dans des conditions similaires, sans poussières.

2) Écartant les quelques cas où il n'y a pas eu d'explosion soit avec certains charbons qui n'en ont jamais donné, comme les anthracites du pays de Galles ou les

(*) D'après le tableau des expériences, on a laissé écouler de 1 à 6 minutes, en général 2 1/2 à 3 minutes, entre le jet de la poussière dans le puits et l'explosion.

houilles flambantes de la Forêt de Dean, soit dans certains cas (*) avec des charbons qui, dans d'autres expériences, ont fait explosion, M. Hall croit avoir prouvé qu'une large flamme comme celle d'un coup de mine chargé à la poudre noire qui fait canon ou celle résultant d'une petite inflammation de grisou fait exploser avec grande violence une atmosphère contenant en suspension une quantité relativement modérée de poussière sèche, et que cette explosion se continuera indéfiniment en cheminant dans une pareille atmosphère et augmentant en violence au fur et à mesure qu'elle progresse. La preuve en serait que dans presque tous les cas où le coup a été tiré avec les poussières en suspension on a obtenu une violente explosion, dont la force ne faisait que commencer lorsqu'elle arrivait en haut du puits et se dispersait dans l'atmosphère avec une projection de flammes qui est allée jusqu'à 20 mètres au-dessus de l'orifice (**).

3) Les poussières de plusieurs couches dans divers districts sont presque aussi sensibles à l'explosion que la poudre elle-même, puisque de violentes explosions ont été produites avec la poussière au repos.

4) Les poussières sont d'autant plus explosibles qu'elles sont plus pures.

5) Un supplément d'oxygène, tel que celui résultant d'une ventilation active, a pour effet de rendre les explo-

(*) Il est curieux de constater que M. Hall n'a pas pu obtenir d'explosion avec les poussières de Radstock où quelques semaines après avait lieu le coup de feu de Camerton (voir Annexe n° 3).

(**) Il ne sera pas interdit de faire remarquer que M. Hall résout peut-être la question par la question. Qu'il ait obtenu des *inflammations* de poussières, cela n'est pas contestable; sont-ce des *explosions?* on en peut douter en l'absence de tous dégâts dans les installations. Que l'inflammation ou l'explosion aurait continué indéfiniment, c'est une pétition de principe; car rien absolument dans les expériences n'autorise cette déduction.

Digitized by Google

sions de poussières plus probables et plus graves (*).

6) On n'a pas enflammé les poussières en remplaçant la poudre noire par de la roburite ou de l'ammonite (**).

M. H. Hall a remarqué que les explosions les plus violentes avaient été obtenues avec la couche *Aberdare* (ou *Merthyr*) *Four-feet* (ou *Upper Four-feet*) du sud du Pays de Galles, couche qui a occasionné peut-être les malheurs les plus grands, puisque, depuis 1845, 1.600 personnes y ont été tuées à la suite d'explosions (***).

ANNEXE N° 3.

ACCIDENT DE CAMERTON DU 13 NOVEMBRE 1893 (****).

La mine *Camerton* est située dans la partie du bassin houiller de Bristol, qui s'étend sur le Somersetshire ; elle est à 5 kilomètres au nord-ouest de Radstock et à 12 kilomètres au sud-ouest de Bath. Elle comprend deux sièges d'extraction distincts, bien que communiquant entre eux ; chaque siège a son puits d'entrée et son puits de sortie d'air; l'un des sièges est l'*Old Pit ;* l'autre, le

---

(*) M. Hall ne donne pas la moindre indication à l'appui de cette conclusion si grave, et il n'y a pas un mot dans son tableau d'expériences qui vienne à l'appui de cette assertion.

(**) La composition de l'ammonite n'a pas été donnée.

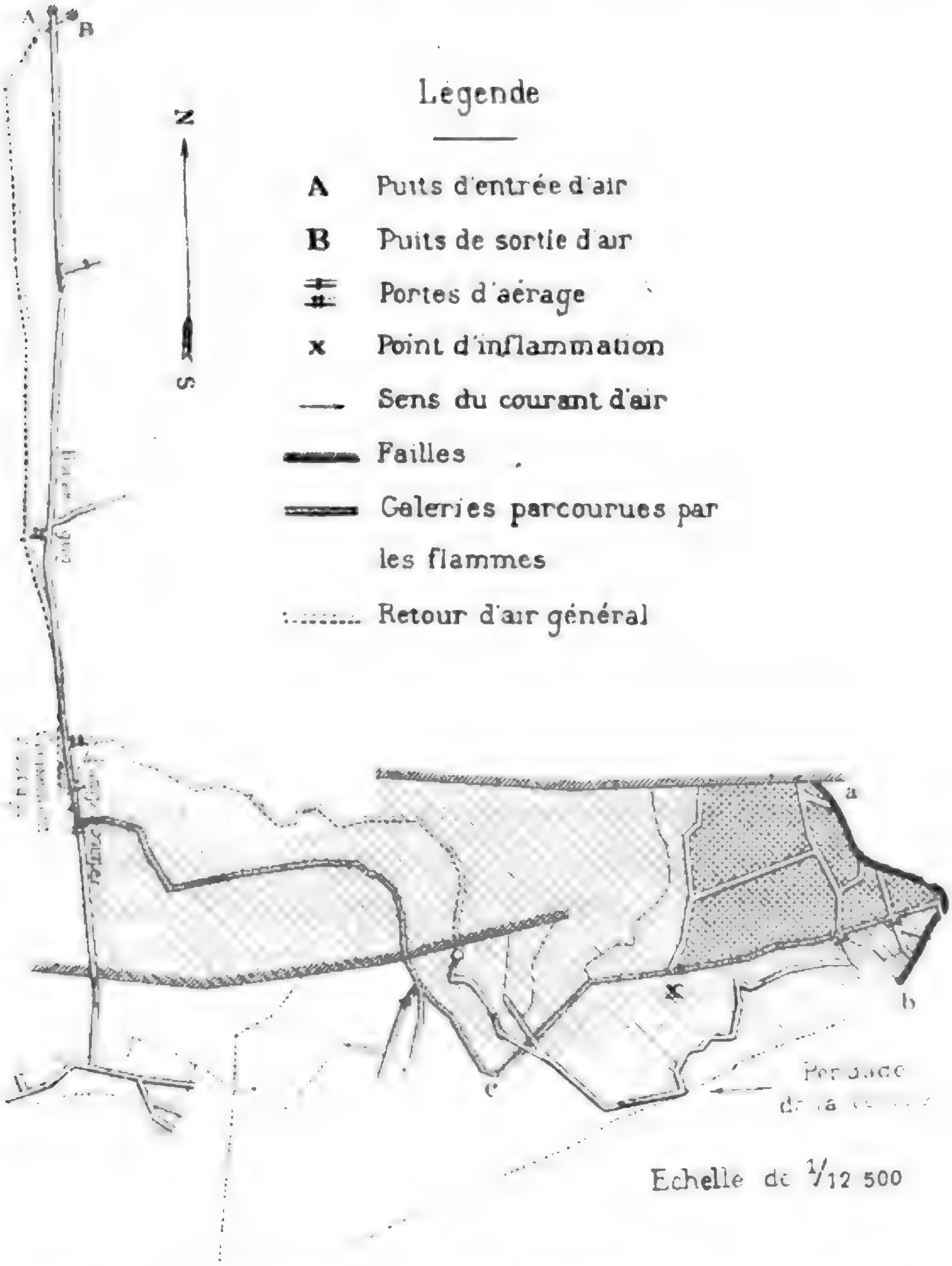
(***) Cette couche donne des charbons à vapeur les plus réputés du Pays de Galles; elle est une des plus grisouteuses que l'on connaisse et peut-être cette haute teneur en grisou des charbons n'est-elle pas étrangère à l'inflammabilité des poussières.

(****) Nous avons utilisé, pour le présent compte rendu, tant le rapport officiel de l'inspecteur royal M. Joseph S. Martin que les dépositions faites devant la Commission royale sur ce point.

M. l'ingénieur Watteyne a déjà donné, dans les *Annales des travaux publics de Belgique* (t. XLI), une traduction du rapport officiel précité de M. Martin.

Digitized by Google

New Pit. L'un et l'autre occupent en tout 300 ouvriers en trois postes de huit heures, dont deux au charbon et un aux réparations. Sur ces 300 ouvriers, 180 sont occu-



pés au *New Pit*, où l'accident est survenu (voir le plan ci-dessus) ; chaque poste au charbon y comptait 80 ouvriers et le poste aux réparations 20 ; ceux-ci étaient répartis

entre les divers quartiers du *New Pit*. Deux ouvriers seulement travaillaient, la nuit du 13 au 14 novembre 1893, dans le district du sud-est où l'accident s'est produit.

On exploite à Camerton cinq couches de la série de Radstock ou de la série supérieure de la division du bassin houiller du Somersetshire.

Ce sont des couches minces, d'épaisseur variant de $0^m,30$ à $0^m,60$; on les exploite par grandes tailles ou *long wall;* on est obligé de sortir au jour un vagon de stériles pour quatre de charbon. Encore que généralement par conséquent le vide en arrière des fronts de taille soit entièrement remblayé, cependant, dans les couches les plus puissantes, la partie remblayée paraît rester plus ou moins vide entre les murs dressés le long des galeries : tel semblait être notamment le cas dans le district du sud-est de la grande couche, où a eu lieu l'inflammation, entre le front de taille et le point originaire de l'explosion.

Ces couches donnent des charbons à longue flamme.

M. le professeur Dixon, membre de la Commission royale, qui a visité la houillère après l'explosion comme mandataire de cette Commission, a donné les cinq analyses suivantes pour la composition, après dessiccation, des poussières recueillies par lui en divers points des galeries :

	NUMÉRO 1		NUMÉRO 2		NUMÉRO 3		NUMÉRO 4		NUMÉRO 5	
		Cendres déduites		Cendres déduites		Cendres déduites		Cendres déduites		Cendres déduites
Matières volatiles. . .	30,54	40,60	28,2	38,2	17.20	35,0	24,64	39,0	18,45	53,6
Carbone fixe	44,44	59,30	45,6	61,8	31,81	65,0	38,25	61,0	15,98	46,4
Cendres.	25,02	»	26,2	»	50.99	»	37,11	»	67,10	»
	100,00	100,00	100,0	100,0	100,00	100,0	100,00	100,0	100,00	100,0

Les poussières n° 1 et n° 2 ont été ramassées près du point d'inflammation X ; la poussière n° 2 avait été déposée depuis, tandis que la poussière n° 1 avait été soulevée par l'explosion, et elle est indiquée comme étant légèrement brûlée.

En l'absence de toute indication sur les matières stériles qui peuvent être mêlées au charbon, il serait inutile de s'arrêter aux observations que pourraient suggérer ces analyses (*).

Depuis cent ans qu'on exploite la mine Camerton, on n'y avait jamais reconnu trace de grisou, pas plus d'ailleurs que dans les mines voisines ouvertes sur les mêmes couches, et cela nonobstant les nombreuses failles qui sillonnent leurs travaux.

Il est vrai qu'avant l'accident on n'avait jamais cherché spécialement le gaz à Camerton ; on se bornait à dire qu'on n'avait jamais vu qu'il eût marqué aux chandelles dont on se servait pour l'éclairage.

Quelques jours après l'accident, des recherches attentives ont été faites sans résultat par le professeur Dixon avec la lampe à hydrogène de Clowes, qui permet de reconnaître une teneur de 1/4 p. 100. On a même barré systématiquement pendant deux semaines le quartier de l'accident, sans y trouver ensuite trace de grisou.

On a donc admis qu'il n'y en avait pas le moindre élément lors de l'accident (**).

(*) Ainsi on ne laisse pas d'être étonné, *a priori*, que la poussière n° 1, qui est indiquée comme ayant été brûlée par l'explosion, ait une teneur en matières volatiles, cendres déduites, plus élevée que les poussières n°s 2, 3 et 4.

(**) La preuve est-elle péremptoire ? Si le gaz était provenu d'accumulations successives dans le vide qui se trouvait immédiatement en amont du point d'inflammation, on ne pouvait plus en trouver après l'accident. Il n'est pas contestable toutefois que tout concorde à écarter l'hypothèse d'une explosion de grisou.

Digitized by Google

L'exploitation se faisait à la profondeur de 287 mètres.

Le district sud-ouest consistait dans une grande taille *ab*, de 280 mètres environ de développement, ouverte dans la « grande couche » ; on menait l'avancement en montant suivant la pente de la couche, qui était de $0^m,25$ par mètre. La taille était desservie par un grand plan incliné, en deux parties, de 550 mètres de développement total ; ce plan servait en même temps de voie d'entrée d'air.

Le front de taille était arrivé à 2.200 mètres du puits.

L'aérage était assuré au moyen d'un foyer.

Le district recevait $2^{mc},832$ d'air à la seconde avec une vitesse de $1^m,50$ dans le plan incliné ; les dimensions de ce plan étaient de 1 mètre à $1^m,20$ de hauteur sur $1^m,80$ de large.

Le front de taille était assez humide et par suite peu poussiéreux. Au contraire, le plan incliné et la grande galerie de roulage qui lui faisait suite, sauf sur quelques points de cette dernière où de l'eau séjournait, étaient très poussiéreuses. Le plan incliné était particulièrement envahi par les poussières ; on les ramassait entre les rails pour les rejeter en tas sur les côtés, contre les parois, jusqu'à ce qu'on les enlevât en vagons ainsi qu'il fallait le faire plusieurs fois par semaine.

On n'avait pas besoin de tirer à la mine pour l'abatage de la houille au front de taille ; mais on faisait une assez forte consommation de poudre noire soit pour abattre le mur en vue de donner aux galeries la hauteur nécessaire, soit pour remettre les galeries à dimensions après affaissement du toit.

L'inflammation a été déterminée par un coup de mine tiré au ciel du plan incliné au point X à 1.920 mètres du puits. Ce coup, de $0^m,25$ de profondeur seulement, et de 47 millimètres de diamètre, percé en remontant, était

Digitized by Google

chargé de 250 à 300 grammes de poudre (*). Par suite d'une cassure de la roche au fond même du trou, cassure qui n'avait pas été aperçue, la mine travailla à peine ; si ce ne fut pas un coup ayant positivement fait canon, il peut être considéré comme un coup surchargé n'ayant pas ou ayant à peine travaillé ; en outre, le coup avait été placé de telle sorte que sa direction prolongée venait rencontrer le sol de la galerie à 3 mètres de distance. Si l'on se rappelle l'abondance de poussières amoncelées sur le sol et particulièrement, paraît-il, en ce point (**) ; si l'on ajoute que deux heures auparavant un premier coup avait été tiré, qui avait convenablement travaillé, mais avait déjà provoqué le soulèvement des poussières, on reconnaitra qu'on avait là l'ensemble des circonstances, assez rares à réunir, qui sont nécessaires pour provoquer une inflammation de poussières.

Les flammes se propageant dans la galerie brûlèrent partiellement à 9 mètres en aval du coup, dans un refuge latéral, le sac en toile où était le repas des ouvriers ; ceux-ci s'étaient abrités dans un autre refuge à 30 mètres en aval, soit à 39 mètres du coup ; on y retrouva leurs chandelles éteintes, mais en bon état ; les ouvriers ont dû fuir, et leurs cadavres furent relevés étendus sur le sol, plus ou moins brûlés, à 18 mètres plus loin, soit à 57 mètres du coup, en aval.

Comme indication sûre du passage des flammes au delà on n'avait reconnu des croûtes de coke que sur les

---

(*) Cette charge a été évaluée d'après la longueur de la partie qu'elle occupait suivant les traces laissées dans le rocher; la charge était excessive pour la profondeur du coup qui était trop court; le bourrage ne pouvait pas occuper plus de $0^m,13$.

(**) L'accumulation exceptionnelle de poussières en ce point provenait de ce que les charbons chargés sur les vagonnets y étaient laminés contre le toit par suite du rétrécissement de la galerie en hauteur.

Digitized by Google

bois de la galerie de roulage à 9 mètres du bas du plan incliné, soit à 247 mètres du point d'inflammation. Au delà, on ne relevait plus sur les parois ou le sol de la galerie que des traces de suie noire. Mais M. W.-N. Atkinson, l'inspecteur royal, qui s'est fait une notoriété par ses études sur les poussières, ayant examiné cette suie au microscope y aurait reconnu des indications incontestables d'incandescence, établissant, par suite, d'après lui, la continuation certaine de la flamme jusqu'à mi-chemin entre *Pump Corner* et *Horse Gug*, soit à 1.180 mètres du point originaire d'inflammation.

Les flammes se seraient arrêtées là, dans leur marche à contre-courant, au premier endroit où la galerie aurait été mouillée et boueuse et, par suite, sans poussières. Sans doute au bas du plan incliné, en *c*, sur une vingtaine de mètres, le sol était déjà couvert d'eau et la galerie débarrassée, par suite, de poussières; les flammes auraient franchi ce passage, pense-t-on, parce qu'il s'y trouvait en stationnement un train chargé de houille; les poussières couvrant ce charbon auraient fourni l'élément nécessaire à la continuité et à la propagation de la flamme.

Comme pour les traces des flammes, les dégâts ne se sont produits que dans la galerie principale et d'entrée d'air; on les relevait de part et d'autre du point d'inflammation.

Au voisinage de ce point les dégâts étaient nuls; les outils n'avaient pas même été déplacés. Vers l'amont ou dans le sens du courant d'air, une porte avait été enfoncée à 150 mètres de distance; des wagons avaient été bousculés au haut du plan incliné; toute trace de l'explosion disparaissait avant d'arriver au front de taille *ab* (*).

(*) On a prétendu que les flammes s'étaient arrêtées là à cause de l'humidité du front de taille.

Digitized by Google

En aval, ou dans le sens opposé au courant d'air, toutes les portes établies le long de la galerie avaient été défoncées et rejetées vers l'intérieur, jusqu'au point *d* précédemment signalé à 1.180 mètres du point d'inflammation. Quelques éboulements, qui ne paraissent avoir eu nulle part grande importance, s'étaient produits dans la galerie. En dehors de cette galerie ou, dans cette galerie, au delà du parcours qu'on vient de dire, pas la moindre trace de l'explosion. On ne s'en est pas même aperçu dans les autres districts, ni au bas du puits, tous points dans lesquels il y avait des ouvriers occupés.

Cette localisation des effets de l'inflammation dans une seule galerie, relativement étroite, d'une grande longueur, sans aucune propagation dans les autres galeries ou quartiers, ni même au delà d'un certain parcours dans la galerie originaire (*), est un caractère à coup sûr très particulier de cet accident dont il sera peut-être permis de trouver que toutes les circonstances n'ont pas été suffisamment éclaircies. On reste d'autant plus perplexe que M. Henry Hall, dans les expériences du Lancashire, mentionnées dans l'annexe qui précède, n'a pu enflammer les poussières de Radstock.

(*) Le fait que l'accident n'a pas même été perceptible au bas du puits, à quelque 700 mètres du premier éboulement, ne conduirait-il pas à dire qu'il n'y a pas eu « explosion » au sens strict du mot?

BULLETIN.

ÉTAT PRÉSENT DE L'INDUSTRIE DES MINES DE FER DANS L'ARIÈGE.

Par M. G. VIEIRA, Ingénieur au Corps des mines.

La situation des mines de fer dans l'Ariège semble s'améliorer après la crise de ces dernières années; comme cette industrie est intimement liée à celle du fer dans la région, il est indispensable de parler brièvement de cette dernière.

Les minerais de fer de l'Ariège, à cause de leur situation topographique, ne peuvent actuellement s'exporter hors du département. Les usines de Decazeville, qui ne peuvent les consommer pour divers motifs et celles du Saut-du-Tarn, qui possèdent de bons minerais à leur porte, sont les seules qui soient plus rapprochées de l'Ariège que des Pyrénées-Orientales ou de Bilbao et encore faut-il considérer que les minerais du Canigou et d'Espagne sont, à teneur égale, meilleur marché que ceux de Vicdessos.

Tous les minerais de fer de l'Ariège sont consommés dans le haut fourneau de Tarascon, le seul en marche des trois qui appartiennent à la Société métallurgique de l'Ariège. Ce fourneau produit 40 tonnes par jour avec un lit de fusion rendant 50 à 51 p. 100 de fonte et une consommation de coke de 950 kilogrammes environ par tonne. On y installe en ce moment des appareils Cooper qui permettront d'augmenter sa production journalière, qu'on pense porter à 50 tonnes, en diminuant encore la consommation de combustible. Ce fourneau, grâce à la fusibilité des minerais qu'il traite, a une allure facile et régulière; au commencement de 1894, par suite d'une diminution du travail des forges, il est resté bouché, en feu, pendant 119 jours et est reparti sans aucune difficulté après cet arrêt sans précédent.

Le travail des forges a repris après la reconstitution de la

Digitized by Google

Société et se développe. Un nouveau train de laminoirs vient d'être monté avec une machine à distribution Brison ; la production en fers et aciers marchands atteint 1.400 tonnes par mois. On va essayer au four Martin l'*ore process* qui donnera probablement de bons résultats avec les minerais riches de Puymorens, bien qu'ils soient siliceux comme tous ceux de la région.

La situation de la mine de Rancié est particulièrement intéressante en ce moment à cause de l'application toute récente de la loi du 15 février 1893 qui a complètement transformé les anciennes institutions ; mais je crois savoir que cette question doit faire prochainement l'objet d'une étude spéciale et je n'y insisterai pas.

La nouvelle galerie de la République, prise à 80 mètres au-dessous de l'ancienne galerie Becquey, a rencontré la pointe de l'amas de l'Escudelle qui descend presque à ce niveau en forme de pyramide triangulaire. Ce gîte a été tracé et on compte l'exploiter par tranches horizontales remblayées dès qu'on aura pu ouvrir une autre communication entre les deux niveaux. Après un léger rejet au sud et une mise en roche de 6 à 7 mètres seulement, on a trouvé un nouveau gîte qui paraît très important et qui est déjà connu sur une soixantaine de mètres de longueur avec une puissance de 10 mètres d'excellent minerai géodique. Ce gîte, qui se reliera peut-être avec l'Escudelle d'en haut, en est probablement distinct et viendra s'intercaler entre son pied et le barrage de Bellagre.

La mine de Rancié produit en ce moment 15 à 18.000 tonnes de minerai par an, à la teneur de 50 à 51 p. 100 de fer pour le minerai sec, correspondant à 44 p. 100 pour le minerai humide tel qu'il est livré à l'usine de Tarascon au prix de $0^f,30$ l'unité de fer par tonne.

La mine de Châteauverdun, dont les produits sont identiques à ceux de Rancié, paraît avoir triomphé pour le moment des difficultés d'épuisement au-dessous des vieux travaux très développés qui descendent à 40 mètres au-dessous du niveau de la rivière ; elle produit actuellement 375 tonnes de minerai par mois. Son prix de vente pour une teneur analogue à celle de Rancié est de $0^f,28$ l'unité.

La mine de Miglos qui pourrait fournir de suite des minerais un peu phosphoreux ($0^f,30$ p. 100) et, après quelques travaux de recherches, des hématites aussi pures que les précédentes, est toujours en chômage. Il en est de même de celle de Lercoul qui ne paraît pas offrir de grandes ressources et de celle de Castel-

minier dont les fers oxydés rouges, barytiques, ne servent depuis longtemps qu'à la fabrication de poudres pour la peinture. La minière voisine des Icards, qui fait actuellement l'objet d'une demande en concession, a fourni, en 1894, 500 à 600 tonnes de minerais divers consommés à Tarascon. Une tentative de reprise de la minière de Riverenert qui, par sa situation topographique, ne peut livrer ses produits aux usines de l'Ariège, ne paraît pas avoir réussi; on en a expédié quelques tonnes à Bordeaux.

Le reste de la consommation de Tarascon, autrefois importé des Pyrénées-Orientales et de l'Hérault, a été fourni par la mine de Puymorens. Bien que l'exploitation n'ait commencé qu'en 1894 et que l'altitude considérable du gisement (2.300 mètres) ne permette d'y travailler qu'à la belle saison, la mine a livré pendant la campagne 5.000 tonnes de minerai magnétique pauvre en manganèse, rendant à l'état sec 52 à 53 p. 100 de fer, tenant 8 p. 100 d'eau et livré à Tarascon au prix de 0f,27 l'unité ; si les moyens de transport n'avaient fait défaut, la production, qui était de 120 tonnes par jour, aurait pu être plus considérable.

L'exploitation de la mine de carbonate de manganèse de Las Cabesses, qui a donné, en 1893, des résultats si brillants, paraît singulièrement restreinte. Les travaux de recherche, tant sur le gîte principal, dont le dépilage est fort avancé, que sur celui des Crabious, sont poussés très mollement ; la teneur du minerai en fer et en silice augmente dans la profondeur.

La mine voisine de Brachy, concédée le 20 juillet 1894, n'est pas encore en exploitation. Le gisement est loin d'avoir l'importance de celui des Cabesses et le minerai est de moins belle qualité.

Digitized by Google

LES SOURCES THERMALES

DE NÉRIS (Allier) ET D'ÉVAUX (Creuse)

Par M. L. de LAUNAY, Ingénieur des mines,
Professeur à l'École supérieure des mines.

Nous nous proposons d'étudier dans ce mémoire l'origine, la nature et le captage des deux sources thermales de Néris (Allier) et d'Évaux (Creuse) (*).

Le rapprochement que nous établissons ainsi entre ces deux sources n'est pas seulement fondé sur leur proximité géographique, mais sur leur origine qui nous parait être tout à fait analogue, et qui a entraîné une grande similitude de composition chimique et de température, sinon d'effets thérapeutiques (côté de la question qui échappe absolument à notre compétence et que nous nous garderons d'aborder).

Avant de commencer la description de ces deux sources, nous en retracerons brièvement l'histoire.

I. — Historique.

Les eaux de Néris et d'Évaux, comme la plupart des sources chaudes et abondantes de France, ont été connues et captées à l'époque romaine. On sait quel rôle

(*) Néris est à 8 kilomètres sud-est de Montluçon (feuille de Montluçon); Évaux à 28 kilomètres sud de la même ville, sur la ligne de Montluçon au Mont-Dore et à Clermont (feuille d'Aubusson).

Digitized by Google

capital jouaient, dans la vie antique, les bains chauds ou froids. C'est simplement parce qu'elles leur fournissaient pour l'hydrothérapie une grande quantité d'eau à haute température et non parce qu'ils leur attribuaient, comme nous, telle ou telle propriété médicale spéciale, que les Romains paraissent avoir recherché les sources thermales. Aucun texte antique ne semble indiquer que l'une ou l'autre d'entre elles ait été plus spécialement affectée au traitement de telle ou telle maladie ; mais il n'est guère, dans notre pays, de source à haute température qui soit restée négligée par les anciens. Pour nous borner au Bourbonnais, il y eut des thermes romains à Vichy (Aquæ calidæ) (*), à Bourbon-l'Archambault (Aquæ Borvonis) (**), à Néris (Vicus Neriomagus), à Évaux (Evahon), etc... Presque partout, dans cette région, c'est à partir de l'époque des Antonins et sous les empereurs chrétiens que les villes d'eaux paraissent avoir eu leur plus grand développement. A Bourbon, les médailles trouvées étaient de Constance-Chlore ou de Constantin (306-337) ; à Néris, elles allaient d'Auguste à Valens (364-378), mais celles de Constantin étaient les plus nombreuses ; à Évaux, on en a trouvé de Vespasien (69-79), Trajan. Adrien, Antonin et Septime-Sévère (197-211).

Entre toutes, la ville de Néris parait avoir eu, à cette époque, une importance prépondérante, comme l'ont montré une série de fouilles faites à diverses reprises, notamment en 1819, lorsque, sous la direction de l'ingénieur Lejeune, on commença la construction d'un nouvel établissement ; puis en 1847 ; enfin en 1865 quand on établit les bassins de réfrigération, etc. Ces fouilles, dont les résultats ont été consignés dans un rapport de Le-

(*) Voisin. Sources minérales de Vichy (*Annales des mines*, novembre 1879).

(**) De Launay, Sources minérales de Bourbon-l'Archambault (*Annales des mines*, mai 1888).

jeune, dans un mémoire de Boirot-Desserviers, inspecteur des eaux en 1822, enfin dans un remarquable ouvrage de L. Esmonnot, en 1885, permettent de reconstituer approximativement l'état de la ville et des thermes de Néris dans l'antiquité. C'est, d'ailleurs, un point où les découvertes d'objets romains sont encore actuellement fréquentes (*).

Tout en renvoyant pour les détails aux mémoires originaux, nous résumerons rapidement les points de cette histoire antique qui se rapportent plus spécialement au captage et à l'utilisation de la source thermale.

Une figure ci-jointe (Pl. XIX, *fig.* 1) montre quel fut l'emplacement de la ville romaine de Néris qui, d'après une inscription trouvée en 1776 au Péchin, portait le nom de Vicus Neriomagus (**), la ville même de Neriomagus étant probablement Montluçon, qu'on a considérée comme l'ancienne capitale des Boïens (***).

L'époque de la fondation de cette ville n'est pas connue. On sait seulement qu'elle eut un grand développement sous les Antonins et que la huitième légion Augusta y concourut à la construction des thermes (****).

Aquæ Nerii figure sur la carte de Peutinger (vers 390), entre Châteaumeillant et Chantelle, et une colonne itinéraire trouvée à Alichamps, sur une voie romaine qui devait réunir Avaricum (Bourges) à Augustonemetum (Clermort) par Mediolanum (Châteaumeillant) (*****) donne, en

---

(*) En dernier lieu, en 1888, M. Bertrand (de Moulins) a découvert à Néris plusieurs puits romains contenant des vases de bronze avec une série d'objets antiques, tels que seaux, chaussures, etc. (*Soc. d'émulation de l'Allier*, 2 mars 1888).

(**) *Numinibus Augustorum et Junonibus vicani neriomagiences* (Esmonnot, *loc. cit.*, Pl. VIII). Une autre inscription, trouvée en 1867, paraît dédiée au génie des eaux, *Nerio Deo.*

(***) Albert Lenoir, *Revue du Bourbonnais*, 1887, p. 321.

(****) On a retrouvé plusieurs tuiles portant, soit *Leg VIII. Aug.*; soit *Leg VIII. Aug. L. Appio Leg.* On suppose que cette légion avait à Néris un camp (Castra Stativa) à l'époque de Domitien.

(*****) On croit qu'il arri[illegible] Néris deux autres voies romaines

lieues gauloises, la distance à ce point de la station thermale.

Le plan montre l'existence de thermes considérables A au-dessous de la source thermale B et à peu près sous l'établissement actuel, dont les travaux les ont fait découvrir; d'un théâtre I, d'un camp romain K et de nombreuses villas au nord sur le coteau de Cheberne, du Péchin et des Billoux. Nous ne parlerons que des thermes et du remarquable travail de canalisation qu'avaient fait les Romains pour alimenter la ville d'eau potable.

Les thermes, découverts en 1819, comprenaient, comme le montre le plan ci-joint (Pl. XX, *fig.* 1) (complété d'après les fouilles postérieures de 1863, etc.), une piscine carrée (ayant 10 mètres de côté), de longs portiques latéraux supportant une étuve et deux autres piscines secondaires. Ces piscines, construites en pierre de taille, étaient ornées circulairement et pavées de plaques de marbre blanc. Dans l'étuve, on a retrouvé tout le système de chauffage composé d'une série de tuyaux carrés en terre cuite placés verticalement, l'un à côté de l'autre, dans les murs du pourtour, communiquant entre eux par des ouvertures latérales et plongeant par le bas dans un vide qui occupait toute l'étendue de la salle entre le plancher de marbre et le sol. L'eau chaude arrivait par des tuyaux dans ce vide divisé par une série de piliers de briques espacés de 0^{m},60 et formait, dans ces sortes de cheminées, des courants de vapeur. La description de M. Boirot-Desserviers, qui ne concorde pas absolument avec ce plan, signale, après l'étuve, trois piscines successives de 4 mètres carrés, 9 mètres de circonférence et 4 mètres carrés, et, près des sources, trois bassins que nous trouverons bientôt décrits par un visiteur du XVI^{e} siècle et qui res-

---

qui se réunissaient à Chorles, petit village à 1 kilomètre de la ville, sur la route de Commentry.

Digitized by Google

tèrent visibles jusqu'à nos jours. L'examen des constructions a semblé prouver qu'après une première période florissante ces établissements auraient été détruits, peut-être lors de l'invasion des barbares, sous Constantin II, et rebâtis ensuite à la hâte (sous Julien).

Quant aux aqueducs d'eau potable, ils suffiraient seuls à prouver l'importance de la ville antique. L'étude minutieuse qui en a été faite en 1861, par MM. de Laurès et Faugières, a montré, en effet, qu'on avait capté à près de 35 kilomètres de distance (en tenant compte des circuits) et 300 mètres plus haut, une source dite des Grosses-Gouttes, située entre le Quartier et Youx (*), près du domaine d'Anglard (cote 633,63) sur un plateau qui, ainsi que nous le dirons plus loin, parait alimenter par ses infiltrations profondes les deux sources thermales de Néris et d'Évaux, et qu'une autre branche d'aqueduc allait chercher à 10 kilomètres au sud vers Arpheuille, auprès du domaine des Combes, une autre source dite Font-Bouillant (**). Ces deux sources étaient amenées à Néris par des aqueducs très soignés (voir les coupes ci-jointes, Pl. XIX, *fig.* 2 et 3), dont le radier était formé d'un conduit en terre cuite sur massif en béton de ciment et protégé par une maçonnerie en moellons de forme ogivale, dont les dimensions permettaient à un homme de s'y introduire pour les visiter. Près de Néris, au Péchin, ils aboutissaient à un réservoir E (Pl. XIX, *fig.* 1), d'où un branchement F se dirigeait vers l'établissement.

A la même époque, les eaux d'Évaux, quoique certainement moins fréquentées, avaient également subi un captage important.

Les Romains, par un procédé qu'ils ont souvent appliqué, avaient mis à nu les griffons en commençant par

(*) Feuille de Gannat, en bordure sur la feuille d'Aubusson.
(**) Feuille d'Aubusson, cote 484,34. Cet aqueduc a été appelé l'aqueduc des Combes, le premier étant l'aqueduc des Viviers.

découper (Pl. XXII et XXIII), sur près de 10 mètres de haut, dans le fond rocheux du ravin où suinte la source, un espace plan d'une soixantaine de mètres de côté; puis, sur cet espace nivelé au moyen d'un béton atteignant, par endroits, $3^{m},50$ de puissance, ils avaient capté les cinq principaux points d'émergence dans autant de puits maçonnés de 3 à 4 mètres de profondeur, descendant depuis la surface du béton jusqu'à la roche en place; le radier en béton qui réunissait ces puits avait pour effet de créer, sur tous les points autres que les puits, une charge forçant l'eau à sortir tout entière par ces orifices.

Ce béton, qui subsiste encore, est, en général, formé de gros fragments de tuile noyés dans un ciment. Certaines parties, qui semblent avoir servi de barrages, sont faites d'un ciment plus homogène à grain plus fin et mieux lié.

On peut voir, même aujourd'hui, la plus grande partie de ce captage qu'on s'est contenté d'utiliser dans la seconde moitié de notre siècle; les puits sont reliés les uns aux autres et rattachés à des piscines par tout un système d'aqueducs et de caniveaux; il existe des tuyaux de plomb formant cheminée dans le béton au-dessus de griffons accessoires, etc. En outre, deux grandes piscines (bassin rond et bassin carré) montrent encore leurs gradins de pierre avec des restes d'un revêtement en marbre blanc scellé au moyen de pièces de cuivre et, dans le fond du bassin rond, trois caniveaux entaillés dans la pierre amènent l'eau chaude de trois directions différentes. On a retrouvé, en outre, sur l'emplacement de ces piscines (aujourd'hui à découvert) et sous une partie de l'établissement actuel, les restes d'une construction élégante avec dallages de marbre, revêtements de porphyres divers (*), mosaïques, fresques, etc. Nous dirons plus tard à quelles constatations minéralogiques peuvent

(*) Nous avons trouvé nous-même des fragments de porphyre rouge et vert antique, dans la source du bassin rond.

Digitized by

donner lieu certaines pièces métalliques restées, depuis l'époque romaine, en contact avec les eaux.

Ce travail de captage des sources d'Évaux est rattaché d'une façon fort légendaire à l'époque d'Auguste (comme Néris à Néron, dont on prétend reconnaitre le nom dans celui de la ville), et particulièrement à un certain Duratius, proconsul d'Aquitaine qui, vers l'an 29 av. J.-C., aurait fait construire les thermes d'Évahon (Évaux), capitale du pays de Combrailles (*). Le seul document réellement précis est fourni par les médailles trouvées aux sources, qui allaient de Vespasien (69-79) à Philippe (mort en 249) (**).

Après le IV^{e} siècle et lors des invasions barbares, Néris et Evaux subirent le sort commun de toutes les eaux thermales de Gaule; les thermes furent détruits; leurs restes, ajoutés aux éboulis du sol, masquèrent en grande partie les sources, qui cependant ne semblent jamais avoir été complètement oubliées. Leur thermalité de 53 et 55°, leur abondance, telle que chacune des deux pouvait faire tourner des moulins, expliquent aisément comment, si l'on oublia peu à peu jusqu'à l'emplacement des bâtiments anciens, cependant les eaux minérales continuèrent à attirer l'attention et même à être utilisées par quelques malades du pays.

A Néris surtout, les bâtiments avaient été si vastes et si nombreux qu'ils furent longtemps à tomber en ruines (***).

(*) Voir, 1685, Bonaventure de Saint-Amable, *Histoire de Saint-Martial* (édition de Limoges, p. 20 et 21).

(**) On a essayé sans succès d'identifier Évaux avec une des eaux thermales mentionnées sur la carte de Peutinger.

(***) Au VIII^{e} siècle, il paraît que Pépin avait à Néris un palais où il venait souvent. Jusqu'en 1792, Néris garda, comme témoignage de son ancienne suprématie, un archidiaconé (de Narzaine, corruption de Neerensis), tandis que Montluçon n'avait qu'un archiprêtré.

Digitized by Google

Au début du XVIe siècle, Rabelais (*), dans un passage bien connu où il explique à sa façon la formation des eaux thermales, sur laquelle « un tas de fols philosophes et médecins perdent temps à disputer », cite Neric (Néris) avec Bourbon Lancy, Ballaruc, Dax, Cauterets, etc.

Évou ou Hévaux est mentionné en 1518 par Pierre Fouschery, chanoine de Saint-Étienne de Limoges, qui y vit « quelques bains d'eau chaude, dont l'eau sortait de la terre comme si elle eût passé par le feu. »

Puis, en 1569, c'est Nicolas de Nicolay qui fait de Néris la description suivante (**) :

« Les antiquités, ruines et vestiges, qui se voient encore pour cejourdhuy à Néris, ainsi nommé comme plusieurs estiment du nom de Néron, empereur de Rome, démontrent avoir anciennement été une bien belle et grande ville... On y voit, en divers endroits, sur petites mottes élevées en façons de fort, entre ombrageuses vallées, plusieurs vestiges et ruines d'édifices et grosses murailles de briques cimentées antiques et, outre le ruisseau des bains à l'occident, sur une autre montagne, sont les ruines d'un autre grand château fort, de manière que de tous côtés se voit apparence d'antiquité, voire que les habitants du lieu, en labourant la terre, y trouvent souvent des médailles d'argent et de bronze des empereurs Néron, Vespasien, d'Antonin et de Faustine... Tirant vers la vallée, sont situés les antiques bains chauds de Néris, édifiés du temps des Romains en forme sexagone (?) ou à huit faces, de beaucoup plus longs que larges, contenant de tout circuit 263 pieds de roi et 50 pieds au plus large, environnés par le dedans de trois

---

(*) Liv. II, ch. XXXIII.

(**) *Description du Bourbonnais en* 1569, réimprimée à Moulins, en 1875, par le comte d'Hérisson (in-4°), p. 102.

rangs de grandes marches en degrés de pierre à la mode d'un théâtre pour servir de sièges à ceux qui s'y baignent et y en a aussi autour des deux puits, le plus grand desquels est pareillement à six faces tenant toutefois sa forme carrée (Pl. XX, *fig.* 2). Cette eau résoud et mollifie toutes duretés comme gouttes noueuses, et guérit les galleux et podagres et plusieurs autres maladies... L'eau qui découle des bains fait un petit ruisseau, lequel entre vallées profondes et tortueuses après avoir fait moudre treize moulins, tournant tout court à sénestre à un quart de lieue au-dessous de Montluçon, se va dégorger dans le Cher. »

Cette description de Nicolay s'applique évidemment, non aux thermes romains proprement dits, où la piscine était carrée, mais aux trois bassins supérieurs (situés sur les sources mêmes) que nous signalions tout à l'heure, d'après M. Boirot-Desserviers, bassins formant par leur juxtaposition un octogone, dont un croquis joint au texte de Nicolay (Pl. XX, *fig.* 2) rend l'indication très claire. Ce sont ces mêmes bassins dallés de marbre et remontant à l'époque romaine, qu'ont vus tous les voyageurs suivants et qui, plus ou moins dégradés et restaurés, ont subsisté jusqu'à notre siècle.

En 1604, Jean Aubry décrit très bien cette grande piscine « traversée de plusieurs murailles en pierre de taille incrustées de marbre par-dessus et, de chaque côté, flanquées de marches ainsi couvertes en marbre; ces murailles à fleur de pavé étaient couvertes pour se communiquer les eaux chaudes. »

En 1614, d'après Ferrut, les vestiges de la grandeur de Néris paraissaient encore par la magnificence des bassins d'eau chaude recouverts en marbre et par de grands aqueducs à la romaine.

Puis, en 1618, Jean Banc donne, après avoir décrit Néris de la même façon que ses prédécesseurs, une men-

Digitized by Google

tion à Évaux, beaucoup plus oubliée que sa voisine. Voici le passage relatif à ces deux sources (*) :

« Néris est un bourg en la province de Bourbonnais, qui marque avoir été autrefois quelque chose de meilleur par les vieilles et copieuses ruines qui y paraissent encore... Au milieu du fond de ce bourg sont les bains faits presque de même forme que ceux de Bourbon-l'Archambault; ils sont divisés en deux, desquels l'un est plus grand que l'autre et le grand se vide par le petit. Il y a deux sources qui sont garnies chacune de son puits comme audit Bourbon. Mais ils ne sont pas élevés hors de l'eau ni barrés par-dessus. Il y a des degrés pour descendre audit bain; toutes les murailles en sont fort bien bâties et cimentées. Mais si montrent-elles moins d'antiquité que ne sont les vieilles ruines du bourg : de sorte que je crois qu'ils aient été rebâtis longtemps après.

« ... En passant pays, il m'a semblé à propos de faire mention des sources chaudes d'Évos, qui sont en nombre de deux ou trois, non adiencées ni accommodées de bain comme les autres ci-dessus. Toutefois, elles laissent des fanges noirâtres, grasses et d'aucunement mauvaise odeur qui sont fort bitumineuses et ont encore le mélange d'un peu de soufre. Je crois qu'elles se peuvent fort heureusement employer à la manière de celles de Barbotan en Gascogne. »

En 1698, l'intendant Le Vayer, dans un mémoire sur la généralité de Moulins, destiné à l'instruction du duc de Bourgogne (**), parle des eaux d'Evaux en Combrailles,

---

(*) *Les admirables vertus des eaux naturelles de Pougues, Bourbon et autres renommées de France*, par J.-B. Bourbonnais (Jean Banc, 1618. (Bibliothèque nationale, inventaire, S. 2065, p. 128.

En 1646, Dubuisson Aubenay, voyageur picard, qui a consacré une intéressante description à Bourbon-l'Archambault, ne parle pas de Néris ni d'Évaux.

(**) Manuscrit à la Bibliothèque nationale.

Digitized by Google

« qui ne sont fréquentées que par ceux du voisinage; aussi leur source n'a été honorée d'aucun édifice public et n'a d'autre bassin que celui des rochers qui l'environnent. »

Au XVIIIe siècle, les sources de Néris continuent à être un peu fréquentées par les gens du pays, quoique la vogue fût alors ailleurs, notamment à Bourbon-l'Archambault et, sous Louis XV, nous savons qu'il y résidait un intendant des eaux.

En 1728, André Duchesne, qui les visita, put encore voir, à côté de l'église, les débris d'une tour qui avait 24 mètres d'élévation, entourée d'un long fossé et pavée en mosaïque. Nous possédons, en outre, quelques observations faites sur les sources vers cette époque par Duclos (1670), Michel (1766), Carrère (1785), Philippe de Montluçon (1785).

Cependant la renaissance de Néris ne date que de 1819, époque où Boirot-Desserviers, inspecteur des eaux, obtint de l'État qui, depuis 1794, avait pris possession des sources, la construction d'un nouvel établissement.

Jusqu'à cette époque, on n'avait pour se baigner, en dehors des antiques bassins déjà délaissés, qu'un vieil établissement tombant en ruines et des baignoires placées dans les caves des hôtels qui entourent les sources. Des anciens travaux de captage, on ne connaissait plus que le bassin situé sur la source même, tel que l'avaient décrit Nicolay et Aubry, avec trois (et non deux) puits qui l'alimentaient. Ces puits, d'après le Dr Michel (1766), s'appelaient le Grand puits, le puits de la Croix et le puits Carré ou Tempéré. Les désignations relatives à ces puits sont fort variables suivant les auteurs et difficiles à identifier de l'un à l'autre; ce qui s'explique en partie par l'espace restreint dans lequel ils étaient compris : à peine 15 mètres de long sur 5m,50 de large. En 1785, Philippe de Montluçon appelle le premier, tantôt Grand puits,

tantôt puits de César; enfin, en 1822, Boirot-Desserviers, qui désigne toujours le puits principal sous le nom de puits de César, signale, en outre, une quatrième source sans désignation particulière qui serait apparue à côté du puits de César, au moment du tremblement de terre de Lisbonne. Quant à trois autres sources, que des fouilles de 1832 firent découvrir et dont nous reparlerons plus loin, elles étaient alors complètement obstruées et l'emplacement même des anciens thermes était si bien oublié que c'est tout à fait par hasard que les travaux d'alors le rencontrèrent.

Cet établissement, commencé en 1819, et dont la première pierre hors du sol fut posée en 1826, est le grand établissement d'aujourd'hui, dont l'aile droite fut seulement achevée en 1838 et l'aile gauche, après une longue interruption, en 1853 (*).

Pendant cet intervalle, en 1832, le Dr Falvart de Montluc, inspecteur des eaux après le Dr Boirot-Desserviers, avait fait déblayer les trois autres puits ainsi décrits par le Dr Maurin (1858) (**) :

« Puits Boirot, au-dessous du puits de la Croix (même forme et même capacité);

« Puits du Noyer et de Falvart Montluc (4 mètres de profondeur, 1m,16 de diamètre à l'orifice), au-dessous du puits de César. »

Ultérieurement, on fit, de 1840 à 1848, les étuves et les

(*) Pour Aimé Cécyl, auteur d'une description de Néris en 1865, c'est l'aile gauche qui fut achevée en 1853 et l'aile droite en 1856; le petit établissement actuel aurait été rebâti sur un emplacement déjà occupé anciennement.

Cet établissement comprend 58 baignoires, 2 piscines tempérées, 2 piscines chaudes, 58 appareils de douches pour les baignoires et 10 pour les piscines.

(**) *Étude sur Néris*, p. 51. — Nous ne savons ce que signifie l'expression *au-dessous* employée ici et reproduite depuis par divers auteurs.

Digitized by Google

piscines ; en 1859, on construisit, sur les sources mêmes, un petit établissement pour les personnes peu aisées; puis en 1865, sous la direction de M. de Gouvenain, ingénieur en chef des mines, on remplaça les pompes à bras qui servaient jusqu'alors à puiser l'eau thermale par une pompe à vapeur et l'on construisit les bassins réfrigérants.

Nous ajouterons seulement que les sources de Néris ont été mises en ferme de 1794 à 1828, puis en régie pendant quelques années, et de nouveau en ferme. De 1819 à 1869, l'État propriétaire y a dépensé 1 million et les recettes, d'environ 35.000 à 40.000 francs par an, sont restées, en résumé, inférieures aux frais (de 7.000 francs pour la période 1856-1871). Le nombre des malades était, jusqu'en 1870, de 1.200 à 1.700; il a été évalué, en 1891, à 3.800. La source a été déclarée d'utilité publique le 31 juillet 1878. Une demande de périmètre de projection, faite en 1876, a été rejetée.

Comme Néris, mais à un degré singulièrement moindre, Evaux a commencé à revivre dans notre siècle. C'est en 1831 qu'on déblaya l'esplanade antique et les anciennes piscines, qu'on commença la construction d'un établissement sur les fondations romaines, etc. Les premières fouilles firent découvrir, de 1831 à 1839, de nombreux restes antiques, notamment trois piscines recouvertes de marbre (*). Plusieurs bassins furent encore découverts pendant les mois suivants. L'établissement construit à cette époque est celui qui sert encore aujourd'hui. La situation désavantageuse des sources au fond d'un ravin sombre, d'accès peu aisé, à plusieurs centaines de mètres du bourg d'Évaux n'a pas, en effet, permis, jusqu'ici, aux

(*) Mangon de Lalande, *Abeille de la Creuse*, du 23 décembre 1838, n° 51; Legrip, *Annonciateur de la Creuse*, publié à Chambon, numéro du 3 février 1839; cf. *Abeille de la Creuse*, du 17 juillet au 24 août 1894 : Origine des bassins d'Évaux.

Digitized by Google

eaux de prendre un grand développement et le nombre des malades en 1891 n'est encore évalué qu'à 600. Néanmoins on songe actuellement à faire des installations nouvelles. Cette source a été simplement autorisée le 19 avril 1879 (*).

II. — Gisement.

Les sources thermales, dont on a trop souvent regardé l'origine comme mystérieuse et en relation avec des causes très profondes ou même éruptives, sont, en réalité, lorsqu'on les examine mieux, en connexion directe avec les accidents géologiques superficiels du pays, de même que leur minéralisation dépend de la nature des roches et des terrains voisins. Il en résulte, d'une part, que l'étude d'une source (aussi bien que celle d'un filon métallifère) ne peut se faire rationnellement sans étendre les investigations sur une région assez étendue et, d'autre part, que la présence d'une source thermale est souvent un fait intéressant à considérer en géologie générale comme indice d'un accident mécanique du sol qui, sans elle, aurait passé inaperçu.

Nous commencerons donc par une description d'ensemble de la région de Néris et d'Évaux, avant d'examiner en détail le gisement de chacune de ces sources (**).

A. — Géologie générale de la région.

Les deux sources de Néris et d'Évaux sont situées à 18 kilomètres l'une de l'autre, au voisinage presque

(*) Elle a appartenu longtemps à la famille de la Roche-Aymon, dont une vieille ruine, située à 1.500 mètres S.-O. d'Évaux, porte le nom.

(**) Voir la carte géologique en couleurs, dressée d'après nos propres observations, dont une partie encore inédite (Pl. XVIII).

immédiat d'une même profonde dépression dirigée N. 40° E. qui, vers le sud, forme la vallée de la Tardes et, vers le nord, sans discontinuité, celle du Cher (*). Celle de Néris en est à 4^{km},500, celle d'Evaux à 2 kilomètres, toutes deux à l'est et adossées, du côté est, à de hauts plateaux de gneiss qui, par des pentes insensibles, s'élèvent de 400 à 500 mètres jusqu'à une longue crête de granite et de granulite également nord-est, allant de Montaigut vers Youx et Goutières, village près duquel elle atteint 804 mètres d'altitude. Cette crête forme la ligne de séparation des eaux entre le bassin du Cher et celui de l'Allier. En raison de cette disposition orographique du pays, il nous semble très vraisemblable d'admettre que nos deux sources thermales ne sont pas autre chose que la réapparition au jour des eaux infiltrées par les plans de joint des feuillets ou les fissures de ce haut plateau gneissique. Une descente à 2 kilomètres de profondeur qui, sur un parcours horizontal de 15 à 20 kilomètres, ne suppose qu'une courbe très faible (Pl. XX, *fig.* 6), suffit à expliquer leur température ; et leur minéralisation, presque insignifiante, ne comprend que des éléments connus dans les gneiss et les granites de la région.

La sortie au jour des eaux chaudes est, comme nous le verrons plus loin en détail, en relation directe avec des filons de quartz qui jouent le rôle de plans de drainage souterrains. Ces filons de quartz se trouvent être précisément dirigés à peu près perpendiculairement à la crête de partage, c'est-à-dire suivant la ligne de plus grande pente du plateau, N. 130° E. ; ils ont, particulièrement celui d'Évaux, une grande longueur, et l'on s'explique très bien que, par un phénomène dont les exemples sont

---

(*) Plus au nord, c'est encore sur cette même dépression qu'on retrouve les sources thermales de Veaux, d'Argentière et des Trilliers, sur la vallée du Cher, en aval de Montluçon.

nombreux, les eaux souterraines se soient accumulées contre ce plan impénétrable pour revenir sortir au point le plus bas de son intersection avec la surface du sol, c'est-à-dire au point de moindre pression hydrostatique. Le seul fait qui demande un éclaircissement, c'est que, à Néris comme à Évaux, le filon de quartz directeur se trouve s'arrêter avant d'arriver absolument à ce point le plus bas de son plan géométrique, point qui serait un peu au nord-ouest dans la dépression de la Tardes et du Cher; d'où il résulte que les deux sources, qui sortent à l'extrémité du filon, sont encore à une altitude relativement élevée (355 à Néris, 430 à Évaux), à l'intersection d'un petit vallon secondaire, tandis qu'un peu plus loin, le prolongement théorique des mêmes fractures aurait donné des points d'émergence de moindre altitude (200 sur le Cher, à 7^{km} N.-O. de Néris; 310 sur la Tardes, à 3^{km} N.-O. d'Évaux). Cette anomalie apparente s'explique, croyons-nous, par la rencontre d'accidents perpendiculaires N. 40° E, manifestés à Néris même par un filon de quartz de cette direction et en relation avec le prolongement des failles bien connues du Sancerrois.

On peut également remarquer que le filon d'Évaux traverse au sud, à Château-sur-Cher, entre la zone d'infiltration que nous supposons aux eaux et leur émergence, un point situé à la cote 390, c'est-à-dire plus bas que la source d'Évaux de 40 mètres et qui semblerait, par suite, plus favorable à leur réapparition; mais ces eaux souterraines, qui paraissent provenir de tout le plateau gneissique situé autour et surtout à l'est de Marcillat, suivent, sans doute, dans les gneiss, des conduits à peu près parallèles aux plans de schistosité, c'est-à-dire en gros, est-ouest, qui ne leur permettent pas de se diriger dans la direction du sud vers Château-sur-Cher, où il leur faudrait, en outre, passer du gneiss dans le granite.

Nous avons donc, en résumé, affaire à deux systèmes

Digitized by Google

d'accidents orthogonaux, les uns N. 40° E., les autres N. 130° E., qui contribuent, chacun pour leur part, à la localisation des sources thermales à Néris et à Évaux plutôt qu'en tout autre point de la région, et c'est ce double système d'accidents, dont le rôle est capital dans la géologie de tout ce pays, que nous devons d'abord élucider.

La direction nord-est, que nous avons déjà rencontrée deux fois : N. 40° E. pour la vallée de la Tardes, N. 30° E. pour la crête de Montaigut, est, dans le nord du pays et jusqu'à la hauteur d'Évaux environ, de beaucoup la mieux marquée; il nous suffira de dire que c'est celle des deux grandes traînées houillères de Villefranche à Commentry, et de Souvigny à Montmarault et Saint-Eloy, le long desquelles les zones de gneiss, micaschistes et granite ont pris un allongement de même sens. Elle a été très anciennement jalonnée par la série des dykes de granulite qui suivent, sur presque toute sa longueur, la lèvre ouest de la faille de Saint-Éloy et on la retrouve également plus à l'est, dans cette traînée de schistes (précambriens?), métamorphisés par le granite, qui, partant d'Aydat (feuille de Clermont), se dirige sur Manzat, Bégues et Saint-Bonnet-de-Rochefort (près de Gannat) pour se continuer vers Cusset (*); mais elle s'est surtout accentuée à l'époque dinantienne, comme le montrent les nombreux filons de microgranulite de la région au sud d'Évaux et surtout

(*) Cette traînée synclinale (précambrienne), que nous croyons être le premier à signaler, montre, de Manzat à Cusset et à Roanne, une intéressante concordance avec le synclinal carbonifère dinantien; il est assez curieux que ce dernier, à l'ouest de la faille houillère de Saint-Éloy, s'en sépare aussi complètement. Nous la qualifions de précambrienne uniquement pour suivre la notation adoptée sur la carte de France, notamment pour les schistes d'Aydat; car, en réalité, tout ce qu'on sait de son âge c'est qu'elle est antérieure au granite et, pour notre part, nous serions disposé à la rajeunir beaucoup.

Digitized by Google

deux curieuses traînées très minces de tufs du culm (dinantien), l'une à l'ouest de Marcillat, l'autre à l'est de Saint-Gervais. Au sud-ouest de Montluçon, c'est encore la direction des deux grands filons de quartz du Peux-de-Saulx et des Iles et des innombrables filons de microgranulite de la région de Prémillat.

L'allure des terrains archéens le long de la traînée houillère de Saint-Éloy, montre bien que, si ces terrains sont aujourd'hui localement alignés parallèlement à la traînée, ce n'est pas parce que celle-ci correspond à un synclinal ordinaire d'une chaine de plissement primitive, mais parce qu'il s'est fait (peut-être à l'époque dinantienne), le long de la cassure aujourd'hui marquée par le houiller, un déplacement relatif des deux parties séparées par cette faille, avec une friction intense qui a infléchi les terrains schisteux entraînés dans le sens du voussoir animé du mouvement le plus rapide (mouvement vers le nord du voussoir de l'est) (*). C'est ce qu'indiquent notamment les courbures vers le sud prises par la limite du gneiss et du granite dans le voussoir est, près de Montmarault et près de Sainte-Christine, tandis qu'inversement, dans le voussoir ouest, on a une inflexion vers le nord très bien marquée près de Goutières.

Cette direction N. 30° à 40° E., qui est, par conséquent, sans conteste, une direction de fracture importante de l'époque dinantienne, a donné lieu, comme nous venons de le dire, à de très nombreux filons de microgranulite : 1° au sud de Montluçon vers Prémillat, et 2° au sud d'Évaux, entre Mainsat et Auzances et de Bellegarde à la Celle. Ces filons présentent là un phénomène remarquable et qui ne paraît pas accidentel : c'est que, très abondants dans les

(*) C'est le cas des cassures dues à une action tangentielle et formant des filons souvent minéralisés, que M. Suess appelle des *Blätter* (*Antlitz der Erde*, I, p. 156 et 159).

deux zones granitiques est-ouest séparées par les gneiss d'Évaux, ils s'interrompent à peu près complètement dans ces gneiss, où c'est à peine si l'on en voit quelques-uns aux environs de Teillet. Le fait, sans présenter une généralité absolue (car nous pourrions aussitôt citer de nombreuses exceptions à côté de Montluçon même et surtout autour de la grande nappe de microgranulite de Pouzol à l'est de Menat), est cependant très habituel dans le nord du Plateau Central, et l'on peut sans doute l'expliquer par ce fait, que la présence des terrains archéens suppose une accumulation de sédiments que les roches ignées de la profondeur ont eu plus de peine à traverser, tandis que là où le granite, roche ignée elle-même, apparait, la croûte solide avait une moindre épaisseur.

Ce faisceau microgranulitique prête à une autre observation ; son arrêt à la rencontre du terrain dinantien au sud d'Évaux est tellement brusque, qu'on ne peut pas ne pas supposer là, le long de ce dinantien, une faille manifestée d'ailleurs par beaucoup d'autres indices, et il ne serait pas impossible, dès lors, que le faisceau de Premillat (au nord) en fût le prolongement rejeté vers l'ouest par cette faille.

Cette faille serait donc un premier indice de la direction perpendiculaire à la précédente N. 120° E., suivie par la traînée de terrain dinantien qui va de la Celle-sous-Gouzon à Chambon, Saint-Julien-la-Genète et Château-sur-Cher ; mais les directions N. 120° à 140° E. sont surtout marquées par les beaux filons de quartz qui, de Chatelus ou de Boussac vers Évaux et Biollet, traversent tout le pays comme de véritables murailles en saillie visibles de très loin et aussitôt reconnaissables à leur aspect ruiniforme.

Un de ces filons, qu'on doit peut-être considérer comme ayant eu jadis une continuité plus grande, interrompue aujourd'hui par un rejet le long de la faille

du terrain dinantien de Chambon, part, au sud, de Roche-d'Agoux (et sans doute même de plus loin encore, car le grand filon qui va de Tralaigues à Biollet semble se recourber dans sa direction en passant par Montaudot); il se poursuit vers Saint-Maurice; puis, après une interruption à la traversée du dinantien, reparait à Château-sur-Cher et se dirige vers Évaux où nous verrons que la source thermale sort à son contact; là il est coupé subitement et c'est une pure hypothèse de considérer comme son prolongement, rejeté à l'ouest, le filon de même direction qu'on trouve vers Auge et Bord.

Les filons de quartz de Néris ont des dimensions beaucoup moindres; ce ne sont que des veines assez étroites de quartz avec fluorine et barytine; mais leur direction est exactement la même.

Au point de vue de l'hydrologie souterraine, ces filons de quartz jouent, comme l'a bien montré M. Daubrée, un rôle capital; il suffirait, en effet, pour voir comment les eaux qui circulent dans les terrains schisteux s'amoncellent à leur contact, — profitant peut-être de vides subsistants ou réouverts le long des cassures anciennes, ou tout simplement s'arrêtant à un obstacle impénétrable qui coupe la schistosité, — de remarquer à quel point, à leurs affleurements, les terrains encaissants sont pourris et décomposés en argile. C'est, du reste, un fait bien connu des mineurs que la rencontre d'un filon amène souvent une venue d'eau, et M. Daubrée a signalé (*) comment, à Saint-Jean-du-Gard, on utilisait cette propriété pour alimenter les villages en eau douce au moyen de travers-bancs allant recouper de semblables filons, appelés dans les Cévennes des *Carals* ou conducteurs d'eau.

Dans notre région, le grand filon de quartz d'Évaux (qui, de 430 mètres à la source d'Évaux, s'élève peu à

(*) *Eaux souterraines*, I, p. 277.

Digitized by Google

peu à 620 mètres à Saint-Maurice et 712 mètres à Roche-d'Agoux, 738 à Biollet et 747 à la forêt de Roche) joue, en plusieurs points, manifestement ce rôle de collecteur des eaux que nous lui attribuons et l'on voit, à son contact, sortir d'abondantes sources pérennes, d'origine relativement profonde, qui doivent parfois, à leur température constante en hiver comme en été, de porter dans le pays le nom de Font Bouillant. Il en existe une à l'est de Biollet, vers l'étang du Cher; on en retrouve une autre au nord-ouest de Saint-Maurice vers Chez-Lassoux, etc., etc. Ces diverses sources sont, comme celle d'Évaux, au nord du filon : ce qu'il faut, croyons-nous, expliquer par le fait que les eaux viennent de tout le plateau gneissique situé au nord entre Pionsat, Marcillat et Montaigut, où l'on arrive à 660 mètres, et qu'infiltrées dans des gneiss qui ont en général un plongement sud, elles sont arrivées en profondeur rencontrer une muraille de quartz le long de laquelle elles sont remontées sans pouvoir la traverser.

On s'explique assez bien comment les eaux les plus profondes, donc les plus chaudes, sont remontées à Évaux, qui est à peu près le point le plus bas de toute la longueur du filon; elles sortent là évidemment d'une fissure largement ouverte, car leur abondance est considérable.

B. — Gisement de la source de Néris.

Géologiquement, il n'existe à Néris, aussi bien qu'à Évaux ou à Bourbon-l'Archambault, qu'une source unique et nettement déterminée par l'intersection d'un plan de fracture avec le thalweg d'un ravin, bien que, pour la pratique médicale, on ait jugé à propos de distinguer un certain nombre d'émergences différentes, qui peuvent présenter de légères variations dues à des influences superfi-

cielles, à des infiltrations d'eau douce, etc., mais qu'il serait très facile, si on le désirait, de réunir dans un seul appareil de captage. Le rapprochement de ces divers points d'émergence, l'égalité de leur niveau, la presque identité de leur température et de leur composition chimique prouvent surabondamment qu'on a affaire, dans chaque station thermale, à une seule et unique venue souterraine.

Cette source de Néris est située à 335 mètres d'altitude, presque au centre d'un coteau granitique de 3 kilomètres de large, dirigé N. 130° E. et compris entre le houiller de Commentry au nord, les gneiss supérieurs à amphibolites et serpentines (avec micaschistes associés) de Villebret au sud (Pl. XVIII et XXI).

Dans l'espèce d'étoilement demi-circulaire dont Montluçon occupe le centre, le coteau de Néris parait avoir très anciennement représenté cette direction N. 130° E. ; car elle s'y rencontre aussi bien dans le contact des diverses sortes de granite entre eux ou avec les gneiss que dans les veines de granite à grain fin, la majorité des filons de granulite, ceux de porphyrite, de quartz à fluorine, barytine et galène, etc.; nous avons vu, au contraire, qu'au sud-est comme au nord-ouest, la direction perpendiculaire N. 40° E., qui est celle de la bande houillère du Plateau Central, se retrouve bientôt et également dans les accidents de tous les âges.

Le granite de Néris est, en général, à petits grains, de teinte orangée ou jaunâtre assez caractéristique, avec des feldspaths souvent kaolinisés. Il contient fréquemment de la pyrite. A l'est, ce granite à petits grains passe souvent (par transitions insensibles) à un granite porphyroïde à grands feldspaths roses *gp* (pouvant atteindre 8 centimètres de long sur 3 de large, au nord des Triers), qui commence à apparaitre aux environs du ruisseau de Cheberne.

Dans l'un et l'autre, il existe une série de veines à grain tout particulièrement fin (analogue à celui de certains filons minces des granulites), granite à grain fin parfois amphibolique, dont la direction habituelle est celle de tous les principaux accidents de la région N. 130° E. et qui semble résulter de la recristallisation de lambeaux schisteux anciens pincés dans le granite ordinaire (*).

Au voisinage du ruisseau des Billoux, sur la route de Villebret, ainsi que dans bien d'autres points de la route, on peut observer en outre, dans le granite, de longues diaclases qui, au même titre que les filons, nous renseignent sur le sens des dislocations du pays. Ces diaclases ont, pour la plupart, une direction principale à environ 130° et montrent ainsi que l'ensemble de la roche à subi, — à une époque sans doute assez récente, puisque ces fissures n'ont pas encore eu le temps d'être incrustées ni comblées —, un effort de même sens que celui qui jadis, à une série d'époques successives, ouvrit les filons de granulite, microgranulite, porphyrite et quartz.

Ainsi, au pied des Billoux, le granite porphyroïde rosé est coupé par des plans de direction 150° avec pendage est, qui lui donnent un aspect presque stratiforme. En ce point, le granite est traversé par une veine à grain fin de 15 mètres de puissance, dont la direction locale est d'abord presque nord-sud dans le lit du ruisseau. Près du pont de la route Chamblet-Néris, on retrouve le granite à grain fin découpé en parallélipipèdes par des cassures principales semblables à des plans de strate dirigés N. 60° E. avec plongement à 45° vers le nord, et par un autre système de cassures verticales, N. 150° E., c'est-à-

(*) Nous avons étudié ces granites à grain fin dans notre description des roches de Commentry (*Soc. ind. min.*, 3e sér , t. II) et dans une Note sur la vallée du Cher, dans la région de Montluçon (*Bull. de la carte géol.*, t. IV, p. 6).

dire parallèles à l'allongement général de la veine (souvent tapissées de calcite).

De même encore, sur la route de Néris à Villebret, à la rencontre du ravin situé à 900 mètres sud-est de Néris, le granite présente un réseau de fissures dessinées en brun par une altération due à la circulation des eaux superficielles et dans certaines desquelles une sécrétion très ancienne, peut-être contemporaine de la consolidation granitique, a souvent fait cristalliser, sur 1 à 2 centimètres d'épaisseur, des veines exclusivement formées de feldspath. Ces cassures du granite, qui lui donnent souvent l'air d'être disposé par bancs stratifiés, sont là dirigées pour la plupart N. 120° E. avec plongement nord.

Il ne serait pas impossible que ces diaclases eussent joué là, dans la circulation des eaux souterraines, un rôle analogue à celui que M. de Hochstetter leur a (très judicieusement, ce semble) attribué à Carlsbad (*). Néanmoins c'est aux filons de quartz à fluorine que nous attribuons, dans l'émergence de ces sources, un rôle essentiel, et c'est, par suite, ces filons de quartz qu'il convient d'étudier avec quelque minutie.

Les principaux, qui se trouvent au nord-est de Néris, ont une direction N. 135° E. qu'on retrouve également, comme nous l'avons dit, dans les nombreux filons de porphyrite micacée (**) et dans les veines de granite à grain fin de la région.

L'un d'eux a pu être exploité, il y a quelques années, comme gisement de spath fluor, sur le chemin de Néris à Serclier, au delà du ruisseau qui passe au pied est des Billoux (ruisseau qui longe également, plus au sud-est, une veine de granite à grain fin), environ à mi-côte en

(*) *Mém. de l'Académie de Vienne*, t. XXXIV, 1878.

(**) Pour ces porphyrites, nous renvoyons à notre Note sur les porphyrites de l'Allier (*Bull. Soc. géol.*, 3e sér., t. XVI, p. 84, 1887).

Digitized by Google

montant vers Serclier (*). Il est encaissé dans un granite porphyroïde avec une direction N. 120° à 160° E., au voisinage presque immédiat d'un filon de porphyrite. Sa largeur est de plus de 1 mètre; il est à peu près vertical et formé de quartz cristallisé ou pétrosiliceux de teinte verte ou violette, avec des cubes de fluorine ayant jusqu'à 1 centimètre de côté (incolore, violette ouverte), et de la barytine, blanche ou rose. Le quartz, comme cela arrive fréquemment dans ce genre de filons, paraît s'être déposé en plusieurs phases avant et après la fluorine, et a subi des dislocations contemporaines du remplissage qui lui donnent souvent un aspect bréchiforme; on trouve notamment des fragments anguleux de quartz gris ou bleuâtre compacts englobés dans les veines de fluorine. Le filon renferme, en outre, un peu d'hématite rouge. Des veines connexes et parallèles, situées au pied de la pente, au bord du ruisseau, sont tapissées d'aiguilles de quartz et de lamelles de barytine; l'une d'elles contient une forte proportion de pyrite.

D'autres filons de même nature, encaissés dans le granite, ont été également exploités ou au moins explorés sur le chemin de Néris à Commentry, au point où il se sépare du chemin qui va aux Ferrières, près des Charles. On peut observer, en ce point, plusieurs veines de fluorine violette, épaisses de quelques centimètres, dirigées N. 130° E. et accompagnées de petites veinules de quartz; la barytine fait ici défaut; des veinules de quartz parallèles aux filons se montrent jusqu'à une certaine distance dans la roche encaissante qui est altérée et kaolinisée au contact.

On retrouve également près des Triers des veines de fluorine nombreuses qui semblent prolonger celles des Charles.

(*) Filon désigné par Q, Ba, Fl sur la carte, Pl. XXI.

Enfin un filon semblable existe dans le chemin allant de l'établissement thermal à Marcoin, au commencement de la montée, filon dont le prolongement passerait environ par la source thermale. Au voisinage plus immédiat de cette source, il est malheureusement impossible de faire aucune observation; car la vallée où elle se trouve a été remplie, sur une épaisseur assez forte, par des accumulations de remblais, en partie naturels, en partie artificiels et remontant à l'époque romaine, sur lesquels ont été, en outre, établis le parc et les maisons de la ville qui masquent toute espèce d'affleurements.

Mais, à l'ouest de Néris, on retrouve des phénomènes analogues, qui montrent l'importance de ce faisceau de filons N. 135° E., d'âge peut-être permien, avec lesquels la source nous paraît être en relation.

La route de Néris à Villebret offre, au voisinage immédiat de Néris, des deux côtés du premier ravin que l'on rencontre en partant de la ville (*), d'assez longues tranchées, intéressantes parce qu'elles permettent d'étudier, dans le granite très fissuré, deux séries distinctes de veines de quartz : les unes très localisées et irrégulières, en relation avec les granulites qui abondent de ce côté ; les autres, plus continues, chargées à l'occasion de fluorine et de barytine et semblables à celles que nous venons de décrire à l'est de Néris. On peut y constater plus d'une fois l'âge relativement récent de diverses cassures dirigées N. 125° E. comme les principaux accidents anciens de la région.

Avant d'arriver au pont qui traverse ce ravin, on trouve, vers le débouché d'un chemin venant, à travers le coteau, de l'établissement thermal, en α (Pl. XXI), un filon de granulite à grain fin dirigé est-ouest, avec des veines de

---

(*) Le tracé de ce ruisseau passe sur l'R du mot *Camp Romain* (feuille au 80.000e de Montluçon et carte de la Pl. XXI).

quartz pegmatoïde plutôt nord-sud et une veine de quartz plus récent avec fine barytine et grains de pyrite, qui a environ $0^m,10$ de large et est dirigée N. 105° E.

Immédiatement à côté, la *fig*. 3, Pl. XX, montre la disposition réciproque des diaclases et des veines de granulite et de quartz. Le granite, qui constitue l'ensemble de la masse, est, comme partout dans cette région sud-ouest de Néris, à grain homogène assez fin et non porphyroïde. Ses diaclases principales sont dirigées N. 125° E. avec plongement nord (c'est-à-dire en avant du plan du tableau). Une épaisse granulite le recoupe à 65° et paraît avoir été rejetée par l'une de ces diaclases, qui semblent avoir rejoué en partie récemment. Quant aux quartz qui traversent la roche, ce sont des quartz de pegmatite en relation manifeste avec les granulites (bien qu'ils aient cristallisé dans des cassures de direction différente) et très distincts des quartz à fluorine et barytine qui incrustent les filons prolongés mentionnés plus haut. Ils sont hyalins, un peu vitreux, avec de gros cristaux hexagonaux et quelques feldspaths, analogues d'aspect en un mot aux quartz stannifères. Leur disposition est très irrégulière; on les voit remplir des sortes de poches ou de lentilles limitées, dont l'une (à droite de la figure) a plus de 2 mètres de large; ailleurs ils ont suivi des diaclases comme en BC, ou un filon de granulite comme en A; on peut remarquer qu'en B ils ne recoupent pas la granulite.

Des phénomènes du même genre s'observent également sur la tranchée de la *fig*. 4, située un peu plus loin en β. Là le granite est encore recoupé par des diaclases N. 125° E. à plongement nord, par une veine de granulite dont la figure met en évidence l'intrusion irrégulière dans le granite et par une veine de quartz pegmatoïde qui, ici, traverse nettement la granulite.

Enfin, au delà du pont, en ε, on a, dans le granite

Digitized by Google

chargé de chlorite et verdi *gc* une longue tranchée (*fig.* 5), où de nombreuses veines de quartz pegmatoïde présentent une direction environ nord-sud.

Jusqu'ici, nous avons surtout étudié les accidents N. 135° E.; mais, comme nous l'avons dit en commençant et comme l'inspection de la carte le montre aussitôt, le prolongement du filon N. 135° E. en relation supposée avec la source de Néris enfile une vallée qui lui est parallèle et descend rapidement vers Montluçon. Si l'on admet donc, comme nous le faisons, que les eaux souterraines ont cheminé le long du plan de drainage formé par ce filon en partant du sud-est, il faut qu'une raison à éclaircir les ait empêchées d'aller sourdre plus loin vers Montluçon, où elles auraient eu à vaincre, pour remonter au jour, une charge hydrostatique beaucoup plus faible.

Cette raison, nous croyons l'avoir trouvée dans les accidents perpendiculaires N. 40° E., prolongement de ceux du Sancerrois, qui sont bien marqués sur la bordure ouest du bassin de Commentry (*). Autour de Néris, ils ont sans doute amené l'arrêt du faisceau des quartz N. 125° E., qui ne reparaît qu'à 4 kilomètres de là vers Montluçon; et surtout, à Néris même, ils sont signalés par un intéressant filon de quartz de ce sens, dont la rencontre avec le filon thermal perpendiculaire doit déterminer l'émergence de la source. Ce quartz (figuré eu ω, Pl. XXI), dont la direction horizontale est N. 45° E., a un plongement vers le nord-ouest très accentué, de sorte que son intersection avec la surface accidentée du terrain dessine une sinuosité prononcée. On peut l'observer sur-

(*) Voir notamment le contact vertical du granite et du houiller dans la tranchée du petit chemin de fer de la mine de Commentry. Nous avons développé ce côté de la question dans une Note sur la vallée du Cher, dans la région de Montluçon (*Bull. de la carte géologique*, avril 1892, p. 17 et 18).

Digitized by Google

tout sur les deux flancs du ravin où se trouvent les tranchées de la route de Villebret, que nous venons d'étudier (*). Il présente des aspects violacés, roses ou blanchâtres et pétrosiliceux assez habituels aux quartz à fluorine de la région de Néris, et est très fortement bréchiforme et pénétré de fragments du granite encaissant (au point de ressembler parfois à un grès); son aspect est donc très différent de celui des quartz de pegmatite hyalins ou vitreux beaucoup plus anciens que nous avons tout à l'heure rencontrés sur la route.

A l'est, nous avons perdu sa trace avant d'arriver à Néris; mais en travers du ruisseau, à l'est des Billoux, auprès de la carrière de fluorine décrite plus haut, il existe, juste sur son prolongement, des rochers en saillie formés d'un granite particulièrement dur et silicifié, qui peut devoir cette nature spéciale à une injection de veines de quartz très disséminées.

Nous ne croyons pas que ce quartz joue précisément, à Néris, le rôle d'un barrage empêchant les eaux souterraines de descendre plus loin à l'aval; mais son intersection avec le filon perpendiculaire que parait suivre la source, doit avoir déterminé une colonne de moindre résistance dont les eaux profitent pour remonter au jour.

Il y a lieu de remarquer, en tout cas, que cette sortie de la source, à un niveau relativement élevé, à l'origine d'un ravin descendant vers Montluçon, pourrait, un jour ou l'autre, créer un certain danger pour sa conservation; car une galerie en travers-bancs, partant d'un point à l'aval et dirigée suivant le thalweg de la vallée aurait sans doute quelques chances, en recoupant ce filon de quartz nord-est (en un point qui, par suite du plongement nord de ce filon, serait plus au nord que la source), de créer une issue artificielle où se précipiteraient les eaux.

(*) Ravin passant par l'R du mot *Camp Romain*.

C. — Gisement des sources d'Evaux.

La position de la source d'Évaux est rigoureusement déterminée par l'intersection d'un long filon de quartz avec un ravin assez profond qui descend vers un affluent de droite de la Tardes.

Toute la région avoisinante est formée de gneiss ; mais ce massif gneissique, qui s'étend vers l'est dans la direction de Marcillat, Montaigut et Pionsat, présente, en plusieurs points, et particulièrement suivant deux zones au nord et au sud d'Évaux, une structure à peine zonée, presque granitique, que nous avons mise en évidence sur la Pl. XXI par la notation ζg et qui peut tenir à une pénétration particulièrement intime du magma granitique dans les terrains schisteux dont le métamorphisme a produit ces gneiss.

Là, ce gneiss pourrait souvent être confondu avec du granite proprement dit, n'était l'abondance et le groupement local des micas, la disposition zonée de ceux-ci, enfin l'aspect œillé des quartz et des feldspaths. C'est un type de roches que, plus à l'est, on retrouve, bien caractérisé vers Chantelle, plus au nord, du côté d'Huriel, plus au nord-est vers Jarnages.

Dans la zone intermédiaire, qui est celle d'Évaux, le gneiss est, au contraire, bien zoné, mais souvent d'une façon si désordonnée et confuse qu'il est impossible d'y relever une direction présentant quelque continuité ; parfois aussi, il se charge abondamment de mica et prend une structure grenue. Néanmoins, autour de la source, ces observations de directions, toujours si instructives pour l'étude des dislocations du terrain archéen, peuvent se faire et elles mettent en évidence l'existence, environ suivant le ravin des sources, d'une zone à direction anormale (nord-sud, tandis que dans le reste du pays

Digitized by Google

la direction est-ouest domine), anomalie qui accuse là l'existence de quelque faille ayant dû avoir une influence sur l'émergence des sources.

C'est également à cette zone disloquée que s'arrête brusquement le grand filon de quartz, si prolongé, de Saint-Maurice et de Château-sur-Cher (*), avec lequel la source est, comme nous l'avons dit, en relation directe (Pl. XVIII).

Ce filon de quartz est très facile à observer aux environs d'Évaux; car, sur une longueur de près de 1 kilomètre, il y est exploité pour l'empierrement. Auprès de la source, il a une largeur d'environ 8 mètres. Le quartz, qui forme son remplissage, est tout à fait analogue à celui des grands filons du Peu-de-Saulx ou des Iles, aux environs de Montluçon, dont l'âge est peut-être permien (**); au lieu d'être hyalin et vitreux comme les quartz de pegmatite, il est généralement mat, parfois un peu grenu et d'une teinte tirant sur le jaune ou le rose; il est très fortement bréchoïde et contient de nombreux fragments anguleux de gneiss empâtés ou des éléments d'une première formation quartzeuse ressoudés par une silice de teinte blanche ou violacée souvent plus cristalline; on y trouve une certaine quantité de pyrite, à laquelle il semble logique d'attribuer la légère sulfuration des eaux.

Ce filon de quartz principal est accompagné de nombreuses veines secondaires zonées et concrétionnées qu'on voit notamment dans le chemin qui descend à la source et, le long de ses affleurements, on peut observer, par un

---

(*) A Château-sur-Cher, le quartz contient beaucoup de barytine.

(**) Au sujet de cette question d'âge, il est fort singulier que tous les grands filons de quartz de la feuille d'Aubusson semblent disparaître sur la traversée des zones carbonifères; faudrait-il en conclure qu'ils sont antérieurs à ces terrains carbonifères qui les recouvriraient et, par suite, beaucoup plus anciens qu'on ne le croit en général?

Digitized by Google

phénomène très général, des formations d'argile jaune qui doivent résulter de la circulation des eaux superficielles à son contact.

Au delà du ravin de la source, tout ce faisceau quartzeux disparait absolument(*), et nous n'avons pu en retrouver la trace, si ce n'est peut-être à 2 kilomètres de là, près du pont du Châtelet, qui traverse la Tardes, où l'on retrouve quelques veines de quartz pyriteux à peu près dans son prolongement en α (Pl. XXI, *fig.* 2).

Si nous examinons maintenant la source même, nous voyons qu'elle est à quelques mètres à l'aval du filon de quartz, dans un gneiss de direction N.-S. à N. 5° E. présentant un pendage ouest. Ce gneiss, qui est peu micacé (surtout composé de quartz et de fedspath), a subi, par la circulation des eaux, un métamorphisme qui lui donne un aspect tantôt blanchâtre, tantôt rouillé. Dans ce gneiss, les Romains ont creusé une tranchée ABC (*fig.* 7, Pl. XX) qui a produit un appel sur les eaux remontant en *ab* le long du filon de quartz; ces eaux viennent en *c*, *d*, *e* former une série de sources qui ont une pression hydrostatique et une température d'autant plus forte qu'on est plus près du filon de quartz (c'est-à-dire plus forte en *c* qu'en *e*). La fracture par laquelle sortent les eaux est évidemment très large; car celles-ci se précipitent au dehors avec une abondance remarquable, dont on peut se faire une idée en essayant, au moyen de pompes, d'épuiser l'un des griffons. D'autre part, c'est parce que cette fracture est largement ouverte et non formée d'un réseau de fissures capillaires que les eaux suivent de *a* en *g* le filon de quartz au lieu de se précipiter directement en *g* où la pression hydrostatique est moindre qu'en *c* de toute la hauteur *cg*. Le fait qu'il n'y a pour ainsi dire pas de

(*) A 100 mètres de l'établissement, au nord, un rocher de quartz appartenant à ce filon forme le « gros caillou ».

Digitized by Google

perte d'eau thermale vers *g* est d'autant plus remarquable, que la schistosité des gneiss, étant précisément dirigée suivant le plan *abg*, aurait pu créer une issue aux eaux. Il est possible, d'ailleurs, que les Romains aient contribué à l'empêcher par quelque barrage de défense en béton caché sous les remblais, barrage analogue à celui qu'ils avaient construit à Plombières dans un but semblable.

III. — Propriétés physiques et chimiques des eaux.

A. — Débit.

Le débit des sources de Néris, comme de celles d'Évaux, est très considérable. A Néris, il n'existe, avant notre siècle, aucune mesure précise; mais Michel, en 1766, et Philippe de Montluçon, en 1786, sont d'accord (peut-être parce qu'ils se sont copiés) pour affirmer que, même pendant les plus grandes sécheresse, la source suffisait à faire tourner sept moulins construits sur une étendue de 500 toises. Cette observation n'a qu'un défaut, c'est que les eaux de la source, avant de faire tourner aucun moulin, se mélangent avec un ruisseau indépendant. D'ailleurs, le nombre de ces moulins n'a, paraît-il, jamais été de plus de quatre.

En 1822, Boirot-Desserviers évalue le volume de la source à 25 ou 30 pouces cubes; en 1841, Falvart de Montluc, à 965 mètres cubes en vingt-quatre heures; des jaugeages faits en 1851 et 1854 ont donné 900 mètres cubes en vingt-quatre heures.

La disposition des lieux rend actuellement toute mesure délicate; on ne peut guère, en effet, se placer qu'au débouché du grand aqueduc de vidange et il faut prendre

alors des précautions spéciales pour empêcher l'introduction des eaux étrangères, notamment celles qui peuvent provenir du terrain en temps de pluie. Des mesures répétées à diverses reprises par M. de Gouvenain, en 1866, ont donné un chiffre de 1.000 mètres cubes par vingt-quatre heures (695 litres par minute) (*), le niveau d'eau étant à $0^{m},16$ seulement en contre-bas de la margelle du puits de César, c'est-à-dire avec plus de $4^{m},50$ de charge sur le griffon. Mais, par une loi générale, dont souvent on n'a pas assez tenu compte lorsqu'on a donné des jaugeages de sources sans indiquer à quel niveau ils avaient été pris, le débit augmente très vite lorsqu'on abaisse le point d'émergence ; les pompes, qui servent à approvisionner les bassins réfrigérants, donnent facilement 1.700 mètres cubes avec un niveau d'émergence qui n'est encore qu'à 1 mètre ou $1^{m},50$ en contre-bas du sol dallé du petit établissement. En épuisant jusqu'au granite, il est facile de calculer qu'on arriverait à 3 ou 4.000 mètres cubes.

A Évaux, le débit total est évalué à 183 mètres cubes par vingt-quatre heures ($127^{lit},5$ par minute).

Le vague des observations anciennes empêche de s'en servir pour étudier une question qui aurait son intérêt : les variations de débit périodiques ou chroniques de la source. Si, comme nous le croyons, les sources chaudes ne sont autre chose que le retour à la surface d'infiltrations météoriques, il doit, même dans les sources les plus permanentes et alimentées par les réservoirs les plus constants, pouvoir, à la suite d'une série de saisons, ou remarquablement pluvieuses ou remarquablement sèches, se produire telle ou telle variation analogue à

(*) Comme point de comparaison, les sources de Bourbon-l'Archambault en donnent 300, celles de Saint-Honoré (Nièvre 807; la Grande-Grille, à Vichy, 70.

Digitized by

celles que l'on constate si aisément chaque année dans les thermes alpestres (Ragatz, Gastein, etc.).

D'autre part, on conçoit la possibilité que tel mouvement du sol, éboulement, tremblement de terre, etc., puisse modifier le trajet souterrain des eaux et, par suite, leur température et leur débit.

Enfin, les variations de la pression atmosphérique ne peuvent pas ne pas avoir une influence en faisant varier la charge sur le griffon; mais, à ce point de vue, il convient de bien préciser. En effet, une variation considérable de 2 centimètres dans la hauteur de la colonne de mercure barométrique correspond à une variation de $0^m,272$ dans le niveau de l'eau en charge sur le griffon; il est donc indispensable, pour que les observations soient comparables, qu'elles soient faites l'eau étant rigoureusement au même niveau.

Parmi ces diverses influences, une seule a été très nettement constatée à Néris, c'est celle des tremblements de terre qui, en faisant vibrer le sol à distance, produisent d'abord une sorte de spasme dans les canaux souterrains, puis l'afflux brusque d'une grande masse d'eau suivie d'un arrêt, enfin une série de pulsations analogues de plus en plus faibles.

Le tremblement de terre de Lisbonne, qui s'est fait sentir dans la plupart des villes d'eaux d'Europe, a eu, à Néris et à Bourbon, des effets identiques.

A Néris (d'après Boirot-Desserviers), le 1^{er} novembre 1755, « à onze heures du matin, une colonne d'eau s'éleva de la source jusqu'à 3 ou 4 mètres de hauteur et s'y soutint quelques secondes. Le volume des sources dans le bassin thermal fut prodigieusement augmenté, prit une couleur laiteuse ; les fondements du puits de Cérar furent emportés et une source nouvelle se creusa à ses pieds un bassin plus vaste et plus profond ».

A Bourbon, le 1er novembre 1755, des phénomènes

tout à fait analogues se firent sentir, entre trois et quatre heures du soir. A Teplitz, en Bohême, un spasme semblable se produisit le 1er novembre, entre onze heures et midi : la source s'interrompit une minute, puis jaillit toute trouble avec une violence extraordinaire (*). Au même moment, toutes les sources du Maroc et d'Algérie s'interrompaient (**).

B. — Température.

Les observations anciennes sur la température des sources de Néris donnent des résultats trop discordants pour qu'il soit possible de s'y fier. Il est d'ailleurs facile d'expliquer ces discordances par la façon plus ou moins défectueuse dont les thermomètres étaient construits, dont les lectures ont été faites, encore dans l'eau ou au dehors, plus ou moins vite, etc. Les observations postérieures à 1840 concordent mieux.

	Puits de César.	Puits de la Croix.	
Michel. . . . . (1766)	78° C.	75°,5	(observé sans doute avec un thermomètre à alcool, défectueux au-dessus de 40°)
Philippe . . . . (1786)	54	45 ,5	
Boirot-Desserviers. . (1822)	49	48	
Falvart de Montluc. . (1841)	53 ,7	51	
Lebret. . . . . (1850)	52 7	52 ,2	
Forichon. . . . . (1853)	53	»	
De Laurès. . . (1851 à 1853)	52 ,7	51 ,8	
Maurin. . . . . (1856 à 1857)	52 ,9	50 ,8	

(*) Voir Joseph Stepling, *Meditatio de causa mutationis thermarum Teplicensium factæ 1 novembri* 1755 (Prague, 1763), et Reuss, *Die Bäder von Teplitz* (Prague, 1835).

(**) On a évalué la vitesse de propagation de l'onde séismique à Lisbonne, en 1755, à 540 mètres par seconde (de Lapparent, *Géologie*, p. 529). Le temps nécessaire pour parcourir les 1.500 kilomètres qui séparent Néris de Lisbonne aurait été alors de 56 minutes. De Néris à Bourbon, la différence d'heure n'aurait pas dû dépasser une minute.

En 1857, le Dr Maurin a obtenu comme moyenne pour les diverses sources :

Puits de César.	Puits de la Croix.	Puits Carré et puits Boriot.	Puits de Falvart de Montluc.	Source perdue à l'extrémité gauche du grand établissement.
52°,9	50°,8	50° C.	49°,2	27°,28

Ces diverses sources n'étant, ainsi que nous l'avons dit, que des branchements superficiels d'une même venue profonde, on doit prendre, comme température des sources de Néris, celle de la source la plus chaude et, en même temps, la plus abondante : le puits de César, soit 53°.

Quant aux variations de température d'une source à l'autre sur un espace aussi restreint (15 mètres sur 5m,50), elles doivent tenir en grande partie à l'action d'eaux superficielles. M. Lefort a constaté, en effet (*), qu'en opérant avec des précautions spéciales on trouvait un léger excédant de minéralisation dans le puits le plus chaud, celui de César, ce qui ferait croire à un mélange d'eau froide dans les autres.

On a voulu y voir, en outre, l'influence d'une montée plus ou moins rapide dans les terrains superficiels qui doivent exercer une action refroidissante. Cette hypothèse est fondée sur la remarque faite par quelques observateurs que l'eau de la source de César s'élève en bouillonnant, par jets, tandis que celle des autres puits, notamment du puits de la Croix, est tranquille et troublée seulement par des milliers de bulles gazeuses, qu'on voit monter du fond à la surface (**).

(*) *Loc. cit.*, p. 24.

(**) Le Dr Maurin a vérifié (*loc. cit.*, p. 55) que les bulles gazeuses mettaient, du fond à la surface du puits de la Croix, soit pour parcourir 4m.77, de 3 à 4 secondes. Il a, d'ailleurs, confondu cette vitesse d'ascension des gaz avec celle de l'eau, qui est différente.

Digitized by Google

Nous rappellerons, à ce propos, qu'à Bourbon-l'Archambault, sur la longueur d'une fracture thermale très nette captée dans une seule et même chambre de maçonnerie, M. de Gouvenain a observé constamment des variations de température d'un point à un autre, le point le plus chaud restant toujours le même (*). Il a également constaté des différences dans la température prise à diverses époques au même point. De même à Néris, d'après M. de Laurès, la température du puits de César varierait, suivant les jours, de 51°,8 à 52°,5.

Des observations d'un autre genre ont été faites à Néris par le Dr Maurin (1857) avec un thermomètre à maxima sur la température de l'eau à diverses profondeurs.

On a trouvé ainsi, par plusieurs expériences :

	Puits de César.	Puits de la Croix.
Au fond	53°,2 et 53,1	51°,4, 51,9, 51,8
Au milieu	53	50,5
A 0,30 de l'orifice.	53, 52,8 et 52,5	50 à 50,5

Il faut noter que le puits de la Croix est à ciel ouvert, tandis que le puits de César est dans une étuve à plus de 45°; cette circonstance a évidemment une influence sur le refroidissement des couches superficielles de terrain.

A Évaux, la température moyenne est, d'après M. Ossian Henry, l'air étant à 12 degrés centigrades :

Source de César.	Source Nouvelle.	Source de l'Escalier.	Source du Petit-Cornet.	Bain du milieu.	Douche de vapeur.	Bain Carré.
55° C.	47° C.	46°,5	51° C.	45°,5	51°,5	48° C.

Suivant lui, cette température est à peu près invariable.

En résumé, la température est : à Néris de 53°; à Évaux, de 55°; à Bourbon-l'Archambault, elle est, prise au grif-

(*) De Launay, *Mém. sur Bourbon-l'Archambault*, p. 35.

fon, de 53°. Il y a concordance presque absolue entre ces trois chiffres qui, en supposant un degré géothermique de 31 mètres, conduisent à admettre une pénétration en profondeur d'au moins 1.700 à 1.800 mètres.

C. — Propriétés physiques. Conferves.

Les eaux de Néris et d'Évaux sont très limpides et ne subissent jamais l'influence directe des orages, de la fonte des neiges, etc. Le poids spécifique est de 1.001 à Néris, et encore plus voisin de celui de l'eau distillée à Évaux. Lorsque l'eau a refroidi assez pour qu'on y puisse plonger la main, elle donne, comme la plupart des eaux thermales légèrement alcalines, une sensation un peu onctueuse (*). Chaude, elle a : à Néris, un très léger goût de sel ; à Évaux, de sulfure ; en se refroidissant, elle s'altère lentement. Les bulles de gaz sont, dans les deux points, abondantes. Par un effet d'imagination habituel dans toutes les villes d'eaux, on a voulu attribuer à l'eau de Néris des propriétés chimiques et électriques toutes spéciales ; il semble bien démontré que ces propriétés sont simplement celles d'une eau légèrement saline chauffée à la même température.

Lorsque cette eau chaude est maintenue à l'air libre et à la lumière solaire à une température d'environ 50° par renouvellement constant, il se développe bientôt, dans le bassin où elle séjourne, une végétation que l'on retrouve dans la plupart des sources chaudes et où l'on a voulu voir un phénomène mystérieux, un apport de germes venant des profondeurs du sol, alors que la seule nécessité de maintenir l'eau à l'air libre pour obtenir ces plantes, tandis que, dans les bassins intérieurs, il ne se déve-

(*) Pour M. Lefort, cette sensation n'est pas différente à Néris de celle d'une eau douce et chaude.

loppe rien, aurait dû suffire à prouver qu'il n'y avait là aucune génération spontanée. Ces végétations sont les *conferves* qui ont été étudiées en grand détail à Néris par MM. de Laurès et Becquerel (*).

On en observe : 1° dans les puits où l'eau est tranquille (puits de la Croix, à Néris) et dans les bassins chauds de Néris ou d'Évaux; 2° dans les bassins de réfrigération, ces dernières moins développées et d'une autre nature. A Néris on cultive, en quelque sorte, les conferves dans des bassins spéciaux, où on a pu observer leur développement progressif. C'est au bout de 48 heures qu'on commence à apercevoir, sur les parois de pierre, une substance vague où s'accrochent des bulles de gaz argentées. Au bout de 15 jours, il s'est formé une sorte de pyramide verte emprisonnant des gaz. Cette pyramide continue à croître, parfois jusqu'à 1 mètre de hauteur, puis, sous une influence quelconque, rompt son adhérence à la pierre pour venir s'étaler à la surface, où elle se décompose rapidement.

Examinée au microscope, la conferve comprend : 1° une substance gélatiniforme qui disparait peu à peu, à mesure que le végétal se forme, pour s'organiser en filaments entrelacés, tubes cloisonnés et ponctués; 2° des cristaux de substances salines en dissolution dans l'eau : carbonates de chaux et de soude, sulfate de soude et chlorure de calcium; 3° des gaz composés de 60 p. 100 d'azote, 38 d'oxgyène, 6 d'acide carbonique.

Il est remarquable que l'on trouve, dans les conferves, aussi bien à Néris qu'à Évaux, des quantités appréciables d'iode, alors que, dans l'eau même, l'analyse chimique est impuissante à reconnaitre ce corps; mais c'est un fait

(*) 1855. Recherches sur les conferves des eaux thermales de Néris (*Ann. Soc. hydrol. médicale*). Inutile de dire qu'on a appelé ces conferves de Néris, *Nérisine*, comme celle de Barèges, *Barégine*, etc.

qui se présente pour nombre de plantes aquatiques en dehors des sources thermales, pour les varechs dans l'eau de mer, etc. L'association de l'iode avec le chlore et le fluor de l'eau est, d'ailleurs, toute naturelle.

D. — Composition chimique des eaux.

Les eaux de Néris et d'Évaux présentent ce caractère commun d'avoir une minéralisation extrêmement faible, dont les seuls éléments en quantités appréciables sont les alcalis (surtout la soude) avec un peu de chaux, de fer ou d'alumine, unis à du chlore, de l'acide sulfurique ou de la silice.

Le poids de résidu fixe par litre est de $1^{gr},44$ à Néris, de $1^{gr},95$ à Évaux, c'est-à dire inférieur à celui de nombre d'eaux considérées comme douces. On peut comparer ces eaux aux thermes alpestres, ou wildbäder, de Suisse, du Tyrol, etc., qui présentent le même caractère de sortir au jour à une haute température, avec une minéralisation insignifiante ; dans les deux cas, ce défaut de minéralisation s'explique très bien par la circulation profonde des eaux dans des terrains qui ne renfermaient ni principes naturellement très solubles comme le chlorure de sodium et le gypse, ni élément gazeux volcanique, tel que l'acide carbonique, capable de favoriser la dissolution des alcalis renfermés dans les roches ; peut-être même doit-on supposer une véritable distillation interne de ces eaux ayant abandonné, en passant à l'état de vapeurs, les principes d'abord dissous. Comme point de comparaison, les eaux célèbres de Gastein (Tyrol), d'une température maxima de 49°, ne contiennent que des traces à peine sensibles de sels alcalins; celles de Ragatz (Grisons), à 37°,5, tiennent $0^{gr},027$ de sels (carbonate de chaux, etc.).

Officiellement les sources dont nous nous occupons sont classées : celles de Néris comme bicarbonatées et

chlorosodiques, iodobromurées (ainsi que celles de Bourbon-l'Archambault); celles d'Évaux comme salines.

Le désir d'expliquer les propriétés thérapeutiques attribuées aux eaux y a fait rechercher des traces infinitésimales de certaines substances, telles que l'iode et le brome, qu'on voit figurer dans la désignation officielle des sources de Néris, alors que l'iode n'est appréciable, à Néris comme à Évaux, qu'en trace dans les conferves et que le brome y est à peine perceptible. On a de même reconnu la présence d'une très légère quantité de fluor à Néris.

Il résulte de semblables désignations le défaut que, lorsqu'on veut étudier les eaux d'une région à un point de vue, non plus médical, mais scientifique, en se fiant aux statistiques, on se trouve amené à classer dans une même catégorie, *eaux salines*, des eaux qui renferment 255 grammes de chlorure au litre comme celles des salines de Hall (Tyrol) ou les sources d'Évaux qui en tiennent $0^{gr},17$.

1° *Néris*. — Nous rappellerons très sommairement les analyses anciennes qui n'ont qu'un intérêt historique.

En 1670 et 1671, Duclos (*) avança que les eaux de Néris renfermaient de l'alun, du bitume et du soufre.

En 1786, Philippe dit qu'elles contenaient : une terre absorbante, subtile ou muqueuse, du sel de Glauber, du tartre vitriolé, du sel marin et du sel alcalin minéral.

En 1805, le D^r^ Moissier (**) reconnut qu'un litre renfermait $1^{gr},40$ de principes salins :

$$CaO.CO^2; MgO.CO^2; NaO.2CO^2; NaO.SO^3; NaCl,$$

(*) *Mém. à l'Académie des sciences.* — Cf., Michel, *Journal de médecine* pour 1766.

(**) *Journal général de médecine*, an VIII, t. VIII, p. 431.

et Vauquelin (*) donna la composition suivante pour le résidu :

$NaO\,CO^2$.	$NaO.SO^3$.	NaCl.	SiO^2	$CaO.2CO^2$.	HO.	Matières organiques.
33,34	28,68	15,28	8,34	2,8	9,02	2,54

Vers 1822, Berthier (**) trouva dans un litre :

	Sels secs.	Sels cristallisés.
$NaO.2CO^2$.	0,37	0,42
$NaO.SO^3$.	0,37	0,84
NaCl	0,20	0,21
$CaO.2CO^2$ et SiO^2	0,17	0,17

Puis Robiquet (***), étudiant les gaz, constate qu'ils contenaient 97 d'azote pour 3 d'acide carbonique sans trace d'oxygène, et Bussy (****) donna les compositions suivantes :

	Gaz spontané du puits de la Croix.	Air recueilli à la surface du puits de César.	Gaz dégagé par l'ébullition de l'eau.
Azote.	95	81	62
Acide carbonique. . . .	3	»	»
Oxygène.	2	19	38
	100	100	100

D'après Frémy (*****), le résidu renferme :

$NaO.SO^3$.	$NaO.CO^2$.	NaCl.	$CaO.CO^2$.	SiO^2.	KO et Fe^2O^3.	HO.
38,2	19,04	12,59	2,95	11,28	traces	15,22

En 1858, Lefort, en 1891, M. Willm, ont obtenu, pour

(*) *Ann. de chimie*, 1re série, t. LXXVII, p. 124, reproduit par Boirot Desserviers, 1822.

(**) *Ann. des mines*, t. VI, p. 311.

(***) Réflexions sur les eaux thermales de Néris. L'*Annuaire de Longchamps*, 1832, avait avancé que le gaz dégagé des puits était de l'azote pur.

(****) *Annuaire des eaux minérales de France.*

(*****) *Ann. Soc. hydrol. médic. de Paris*, t. I, p. 210. — Cf., Leconte, même recueil, p. 272.

la Commission d'analyse des eaux minérales, les résultats suivants :

	ANALYSES LEFORT (1858)		ANALYSE WILLM 1892
	Puits de César (52°)	Puits de la Croix (51°,2)	
$NaO.2CO^2$	0,4169	0,4167	0,4493
$KO.2CO^2$	0,0129	0,0125	»
MgO	0,0057	0,0057	0,0140
$CaO.2CO^2$	0,1455	0,1463	0,1401
$FeO.2CO^2$	0,0042	0,0033	0,0018
$NaO.SO^3$	0,3896	0,3848	0,3651
$NaCl$	0,1788	0,1782	0,1816
NaI	traces	traces	traces
SiO^2	0,1121	0,1030	0,1082
$LiO.SO^3$	»	»	0,0015
Résidu fixe (trouvé par l'expérience)	1,1445	1,1245	1,2616
Gaz (par litre) Azote	13cm3		Azote 10cm3,2
Gaz (par litre) CO^2	0,0490		Acide carbonique 0,039
Gaz (par litre) Oxygène	»		Oxygène 1cm3,1

La minéralisation, légèrement plus faible, du puits de la Croix, ainsi que la présence d'oxygène dans les gaz dégagés, alors que le puits de César n'en produit pas, rendent très vraisemblable l'infiltration dans cette source d'un peu d'eau superficielle.

Dans la composition des sources de Néris, il n'entre, en réalité, en quantités appréciables que le bicarbonate de soude (0gr,4493 par litre), le sulfate de soude (0,3651), le chlorure de sodium (0,1816) et le bicarbonate de chaux (0,1401). Dans l'eau d'Evaux, ce sont, comme nous allons le voir, les quatre mêmes principes, qui dominent dans un ordre différent, avec addition d'une certaine proportion de silicate de soude, qui peut tout aussi bien exister à Néris, où la soude correspondante a été classée hypothétiquement comme carbonate. La similitude entre les deux eaux apparaît mieux encore quand on prend les compositions élémentaires, comme nous le ferons plus loin (*); aussi nous paraît-il très illusoire de rattacher

(*) Page 610.

Digitized by Google

ces eaux, dont la minéralisation est presque nulle, et d'ailleurs si analogue, à deux catégories bien distinctes de sources : les bicarbonatées mixtes et les salines.

En dehors de ces substances principales, M. de Gouvenain a pu constater au spectroscope la présence de traces de brome reconnaissables sur un litre d'eau et d'une quantité relativement importante de fluor : $0^{gr},0061$ correspondant à 0,0137 de fluorure de calcium ou 1,6 p. 100 du poids du résidu fixe (*). Cette proportion de fluor est sensiblement plus forte que dans les eaux similaires, notamment qu'à Bourbon-l'Archambault où ce corps est indosable, bien que les sources sortent là comme à Néris d'un filon contenant de la fluorine. La présence de l'iode et du brome est commune avec les eaux de Bourbon-l'Archambault et se rattache à celle du chlore. Quant au chlorure de sodium, il est, à Néris et Évaux, le dixième de ce qu'il est à Bourbon où les terrains permiens peuvent contribuer à le fournir.

2° *Évaux.* — L'analyse des sources d'Évaux a été faite successivement par MM. Baraillon, Legripp, Ossian Henry en 1844, et le laboratoire de l'École des mines en 1877. Nous ne donnerons que ces dernières analyses qui ont été l'objet de soins tout particuliers.

Les analyses d'Ossian Henry (**) portent sur sept sources, dont la composition est, on le verra, très comparable ; celles de l'École des mines sur sept autres.

(*) En 1858, à la suite des travaux de Nicklès qui avait signalé la présence du fluor dans un grand nombre d'eaux, Lefort n'avait pu le reconnaître à Néris (*loc. cit.*, p. 20).

En 1891, M. Willm n'a pas retrouvé non plus le fluor signalé par M. de Gouvenain (*Eaux minérales de la France*, p. 115).

(**) 1860. Ossian Henry, *Analyse des eaux d'Évaux*, travail approuvé par l'Académie de médecine, le 2 avril 1844 (chez J.-B. Baillière), 2° édition. Ce mémoire reproduit les analyses antérieures.

Digitized by Google

ANALYSES des eaux d'Évaux par Ossian Henry en 1844	SOURCE de César (55°)	SOURCE du Petit-Cornet (51°)	SOURCE Nouvelle (47°)	SOURCE du Milieu (45°,5)	SOURCE Douche (51°)	SOURCE de l'Escalier (46°,5)	SOURCE Delamarre ou Bain carré (48°)
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
$NaO.SO^3$	0,717	0,707	1,185	1,013	0,744	0,960	0,925
$KO.SO^3$	0,005	0,005					
$NaCl$	0,167	0,176	0,267	0,258	0,160	0,250	0,238
KCl	0,006	0,008					
$NaO.2SiO^2$	0,117	0,130	0,191	0,146	0,120	0,134	0,192
$NaS.HS$	»	0,007	»	»	»	»	»
$NaO.2CO^2$	0,052	0,055	0,040	0,031	0,017	0,060	0,080
$LiO.SiO^2$	0,001	0,001	0,108	0,122	0,320	0,150	0,213
$(CaO.Al^2O^3)SiO^2$	0,070	0,064					
$CaO.SO^3$	0,020	0,020					
$CaO.2CO^2$	0,152	0,258	0,162	0,220	0,361	0,270	0,141
$MgO.2CO^2$	0,045	0,102					
$SrO.2CO^2$	0,001	0,003					
$(FeO, MnO)2CO^2$	0,0005	0,0005					
Iode (traces dans les conferves)	»	»	»	»	»	»	»
Résidu fixe	1,3552	1,3536	1,953	1,790	1,722	1,824	1,789

Gaz. { Azote . . . 87 p. 100; Oxygène . . . 9,5 —; CO^2 . . . 3,5 —

ANALYSES DES EAUX D'ÉVAUX par l'École des mines en 1877	GRAND bassin Carré	SOURCE du Rocher	PUITS-César	JEUNES-FILLES	SAINTE-MARIE	BAIN de vapeur
Acide carbonique total	0,2040	0,2201	0,2242	0,2306	0,2176	0,2108
Carbonate de calcium	0,0718	0,0702	0,0680	0,0566	0,0738	0,0583
— de magnésium	0,0328	0,0353	0,0311	0,0294	0,0336	0,0298
— ferreux	0,0040	0,0035	0,0028	0,0033	0,0039	0,0026
— de sodium	0,1245	0,1647	0,1561	0,1776	0,1389	0,1521
Silicate de sodium (SiO^3Na^2)	0,0974	0,0564	0,0750	0,0613	0,0805	0,0726
Silice en excès	0,0311	0,0493	0,0371	0,0403	0,0378	0,0358
Sulfate de sodium	0,8186	0,8190	0,8052	0,8108	0,7986	0 8175
— de potassium	0,0235	0,0222	0,0217	0,0220	0,02 4	0,0211
Chlorure de sodium	0,2412	0,2249	0,2321	0,2382	0,2362	0,2264
— de lithium	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Matière organique	0,0015	traces	0,0042	0,0020	0,0025	0,0040
Total par litre	1,4494	1,4455	1,4336	1,4415	1,4282	1,4201
Poids du résidu fixe	1,4400	1,4350	4,4300	1,4420	1,4210	1,4260
Bicarbonates tenus primitivement en dissolution :						
Bicarb. de calcium	0,1035	0,1010	0,0979	0,0815	0,1049	0,0840
— de magnésium	0,0499	0,0538	0,0474	0,0448	0,0512	0,0454
— ferreux	0,0058	0,0050	0,0040	0,0046	0,0051	0,0036
— de sodium ($C^2O^5Na^2$)	0,1763	0,2331	0,2209	0,2513	0,1965	0,2153
— — (CO^3NaH)	0,1974	0,2611	0,2473	0,2815	0,2201	0,2411

Digitized

Quant à l'origine des faibles traces minérales contenues dans l'eau d'Évaux, elle peut facilement s'expliquer par l'examen des terrains que les eaux ont dû traverser.

Il n'y a, en somme, en quantités sensibles que de la soude et un peu de potasse ou de métaux alcalino-terreux unis, d'une part avec de l'acide sulfurique, d'autre part avec de l'acide carbonique, du chlore et, selon M. Ossian Henry, avec de la silice.

L'existence de silicates est rendue probable par la précipitation de silice gélatineuse, soit quand on évapore, soit quand on traite par l'acide sulfurique; en outre, par la proportion d'acide carbonique insuffisante pour supposer la soude à l'état de bicarbonate.

Les traces d'alcalis, de chaux, de magnésie, etc., sont évidemment dues aux terrains cristallins de toute la région qui, comme on le sait, cèdent toujours à l'eau chaude une proportion de soude huit ou dix fois plus forte (à teneur primitive égale) que celle de potasse. La présence d'un peu d'acide sulfurique est toute naturelle, étant donné que le filon quartzeux, le long duquel remontent les eaux, contient de la pyrite, et l'existence de traces de chlorures dans nombre de roches primitives est un fait reconnu depuis longtemps.

Il n'y a, entre les divers points d'émergence de la venue hydrothermale d'Évaux, qu'une différence un peu notable, c'est la présence d'une certaine quantité de sulfhydrate et d'hydrogène sulfuré libre à la source du Petit-Cornet, présence qui tient évidemment à la réduction des sulfates de l'eau par des matières organiques, soit celles du sol, soit celles des conferves.

Pour terminer, nous mettons ici en regard les compositions élémentaires des sources de Néris et d'Évaux :

	NÉRIS	ÉVAUX	
	PUITS CÉSAR	GRAND bassin carré	PUITS CÉSAR
NaO	0,4395	0,6052	0,6017
CaO	0,0566	0,0402	0,0381
KO	0,0067	0,0127	0,0117
FeO	0,0019	0,0025	0,0017
MgO	0,0017	0,0158	0,0150
LiO	»	traces	traces
CO^2	0,3928	0,1018	0,1119
SO^3	0,2196	0,4720	0,4636
SiO^2	0,1121	0,0311	0,0371
HCl	0,1116	0,1[illegible]58	0,1116
Fl.	0,0061 (?)	»	»
I et Br.	traces très faibles	traces imperceptibles	traces imperceptibles
Total du résidu à la température ordinaire	1,1445	1,1400	1,1300
Total du résidu à 180°C	1,1150		

Gaz. — On peut distinguer, dans les eaux thermales, les gaz spontanément émis par les sources, les gaz en dissolution et les gaz emprisonnés dans les conferves.

Les gaz spontanés de Néris contiennent : au puits César, 88,52 d'azote et 11,48 d'acide carbonique ; au puits de la Croix (où il parait y avoir un mélange d'eau superficielle), 88,17 d'azote, 11,07 d'acide carbonique et 0,76 d'oxygène.

A Évaux, on a obtenu 87 p. 100 d'azote, 9,9 d'oxygène et 3,5 d'acide carbonique.

Nous avons donné, plus haut, la proportion des gaz dissous. A Bourbon, on a constaté que la composition des gaz variait incessamment au même point, c'est-à-dire que les trois gaz : azote, oxygène, acide carbonique, se dégagent isolément de l'eau par bulles distinctes qui ne montent pas toujours avec la même rapidité, en sorte qu'une prise d'essai restreinte recueille tantôt plus, tantôt moins de l'un ou de l'autre. D'une façon générale, la proportion d'acide carbonique est beaucoup plus considérable à Bourbon qu'à Néris et à Évaux. L'oxygène est également

Digitized by Google

en faible quantité dans les trois eaux et il serait intéressant de voir si partout, dans les sources thermales, il ne provient pas d'actions superficielles.

Les gaz des conferves contiennent toujours, à Néris comme à Évaux, une proportion d'oxygène plus forte que l'air ordinaire, sans doute parce que ces conferves fixent et décomposent l'acide carbonique.

Les gaz dégagés ainsi par les eaux sont, avant tout, ceux qui proviennent de l'air et que ces eaux ont entraînés en dissolution dans leur trajet souterrain pour en laisser échapper une partie lorsqu'elles remontent à haute température. Cependant il s'est fait certaines modifications dans ce trajet : c'est ainsi que l'oxygène a pu être fixé tout au moins en partie ; le puits César, à Néris, n'en dégage pas.

D'autre part, la proportion d'acide carbonique a pu être modifiée par la dissolution de la chaux en bicarbonate ou la précipitation du carbonate. Il ne peut évidemment, dans le cas présent de Néris et d'Évaux, être question de gaz empruntés au trajet dans le sol, c'est-à-dire de moffettes.

Dépôts. — La source de César à Néris dépose une faible quantité d'oxyde de fer dans le puits même et un peu de carbonate de chaux mélangé de matières organiques dans les aqueducs.

Produits d'altération par l'action prolongée des sources. — On peut, à Évaux, observer les effets de l'eau thermale sur des substances diverses restées, depuis un temps prolongé, en contact avec elles. Superficiellement l'effet se borne à un dépôt très lent de carbonate de chaux.

Sur des tubes de cuivre romain, nous avons constaté, comme M. Daubrée l'avait fait à Bourbonne et Bourbon, la formation de chalcosine, hydrocarbonate, cuprite, etc.

M. Termier, qui a bien voulu examiner nos échantillons, y a reconnu également la présence du gypse peu fréquent et celle d'un minéral blanc formant soit un enduit terreux, soit de très petits cristaux transparents, qu'il considère comme de l'anglésite. Les bétons, que nous avons examinés dans l'espoir d'y rencontrer quelques cristaux de zéolithes analogues à ceux de Bourbonne, ne nous ont rien donné d'intéressant.

IV. — Captage et réfrigération.

1° Néris. — Le captage des sources de Néris est fort mal connu; les travaux profonds datent, comme nous l'avons dit, de l'époque romaine et n'ont jamais été vus dans notre siècle, aucune occasion ne s'étant présentée de les faire épuiser, comme on a eu à le faire à Bourbon-l'Archambault en 1882. Les dispositions superficielles, qu'on pouvait encore apercevoir jusqu'en 1859, ont même presque totalement disparu depuis qu'on a placé, au-dessus, les constructions du petit établissement. Cependant, par comparaison avec d'autres captages romains, tels que ceux de Bourbon-l'Archambault, de Plombières, Évaux, etc., il semble bien vraisemblable qu'on a dû creuser, à travers les terrains de transport, jusqu'au granite, sur l'émergence de la source, une fosse plus ou moins profonde encadrée d'une muraille bétonnée et sur le pourtour de laquelle on aura, sans doute, revêtu le sol d'une couche de béton afin de renvoyer toutes les eaux dans la fosse centrale. C'est sur cette chambre souterraine que l'on aura, par une disposition identique à celle de Bourbon, placé les six puits déblayés complètement en 1832.

Ces six puits, dont nous avons déjà dit un mot, étaient situés dans des conditions qu'il est bien difficile de démêler

Digitized by Google

au milieu de descriptions et de dénominations contradictoires. Voici ce qui nous semble le plus vraisemblable à leur sujet :

Le puits de la Croix, qui tirait son nom jadis d'une croix placée sur le mur servant à l'enclore, est situé en dehors de l'établissement et aurait, dit-on, un niveau de 0^{m},40 supérieur à celui des autres sources. C'est un puits octogone de 4^{m},77 de profondeur, 1^{m},96 de circonférence à la base, 1 mètre au sommet, qui sert de buvette.

A l'intérieur du petit établissement et à quelques mètres de la source précédente, se trouve le puits de César ou Grand-Puits, le plus profond de tous (5^{m},39) avec 2^{m},35 de diamètre à la base, 1^{m},60 de diamètre à l'orifice. La margelle de ce puits est, suivant Durand-Fardel, coupée en deux par une cloison de maçonnerie qui sépare deux étuves, une pour chaque sexe. Aux angles de ce même bâtiment, il y avait en 1858, d'après Lefort, quatre puits innomés, dont deux à l'air libre et deux recouverts par des dalles. La même année, le D^{r} Maurin mentionne quatre puits, qu'il appelle : le puits Carré (3^{m},75 de profondeur, 1^{m},16 de diamètre); le puits Boirot, au-dessous (?) du puits de la Croix (même forme et même capacité que le puits Carré); les puits du Noyer et de Falvart-Montluc, au-dessous (?) du puits de César (4 mètres de profondeur et 1^{m},16 de diamètre à l'orifice). Pour lui, le puits de César est le Grand-Puits. Quelques années après, en 1874, la reconstruction du petit établissement (1859) ayant masqué ces puits, M. de Gouvenain, quoiqu'il eût, en 1865, dirigé des travaux à Néris, s'exprime ainsi dans un rapport de service : « Il existe, parait-il, outre le puits de la Croix, cinq puits principaux : le puits de César au centre et les quatre autres aux points cardinaux. Le puits de César seul s'aperçoit par un regard ménagé dans le dallage du grand établissement ». En 1872, le D^{r} Bonnet de Malherbe, qui appelle évidemment

Grand-Puits le puits de César et on ne sait quel autre puits de César, dit que les cinq puits sont, de l'est à l'ouest : le puits de la Croix, le puits de César, le puits Carré, le Grand-Puits (desservant les deux établissements), le puits Dunoyer et le puits innomé. Enfin la description la plus récente, due au Dr Peyrot, reproduit ces mêmes noms en appelant le puits de César ou Grand-Puits également puits d'Enfer (*). Ajoutons que, pour certains, la source Boirot serait celle apparue au tremblement de terre de Lisbonne tandis que, pour d'autres, cette dernière n'aurait été que temporaire.

Quoiqu'il en soit, ces divers puits sont resserrés dans un très étroit espace d'environ 15 mètres sur $5^{m},50$ et, seuls, le puits de la Croix au dehors, le puits de César à l'intérieur de l'établissement, sont visibles.

Des sondages qu'on a essayé de faire sur les sources n'ont, dit-on, jamais retiré que du sable fin, constituant sans doute un apport des sources analogue à celui qui s'était accumulé dans le réservoir de Bourbon depuis l'antiquité et qu'on y a curé en 1882.

Le captage n'est pas, d'ailleurs, absolument parfait; car des infiltrations d'eau thermale se font au voisinage et ont été rencontrées par plusieurs puits situés dans les hôtels Léopold, Lafond-Pasquier et de la Source. Ces puits, de 3 à 5 mètres de profondeur, sont depuis longtemps abandonnés; mais de nouveaux puits creusés dans les cours des trois mêmes maisons à travers les terrains de transport et le granite fournissent, parait-il, de l'eau légèrement mélangée d'eau chaude.

Les eaux thermales de Néris sont employées, d'une part dans les étuves du petit établissement, de l'autre, après réfrigération, dans les baignoires des deux bâtiments.

(*) Nom qu'on rencontre déjà en 1838 dans la brochure du Dr Maurin, p. 65.

Digitized by Google

Toute l'eau minérale commence par se concentrer dans un réservoir, dit des Étuves, sous le dallage du bâtiment et, de là, sa vapeur, à 49°, se répand dans l'Étuve, appelée aussi l'Enfer, (analogue au sudatorium des Romains, ou au bain de vapeur des Orientaux, qu'elle paraît perpétuer).

De là, l'eau chaude se rend dans deux bassins à air libre situés entre le petit et le grand établissement.

Le premier, celui de gauche, se nomme bassin chaud ou de limon ou des conferves, parce qu'on y favorise (et surtout y favorisait autrefois) la production de ces plantes qu'on appelle conferves, en maintenant par une alimentation constante la température à 50°. Il y a eu une époque où ces conferves, qui ont notamment la propriété de fixer les rares traces d'iode disséminées dans l'eau, jouaient un grand rôle comme principe thérapeutique à Néris.

Le second bassin est dit bassin froid ou de réfrigération. C'est lui seul qui, avant les travaux de 1865, servait à la réfrigération de l'eau entre la température de 50 à 53° où elle sort des sources et la température de 34° où elle est supportable en bains. Pour accélérer cette réfrigération, de Falvart-Montluc avait fait installer, au fond de ce bassin, un appareil formé de deux gros tuyaux très longs contenus l'un dans l'autre, où coulaient, en sens contraire, de l'eau commune dans l'extérieur, de l'eau minérale dans l'intérieur. L'eau sortant de l'appareil à 38° achevait de descendre à 34° dans la piscine au contact de l'air extérieur.

Ce problème de la réfrigération, qui se pose dans nombre de sources thermales, présentait des difficultés spéciales à Néris où l'eau ordinaire est assez rare. Aussi a-t-on, de bonne heure, multiplié les bassins réfrigérants qui, avant 1865, étaient les suivants :

	CAPACITÉ	SURFACE
	m. cubes	m. carrés
2 bassins circulaires dans le jardin.	354	354
2 — rectangulaires dans le grand établissement . .	130	88
2 — — devant le grand établissement	208	104
1 — — devant le petit établissement. .	98	80
Total	790	626

Ces bassins peuvent s'alimenter par l'écoulement naturel de la source et alimenter de même les baignoires et piscines; mais il fallait élever l'eau des douches à l'aide de pompes à bras dans des réservoirs placés à la partie supérieure du grand établissement.

Dans ces conditions, la quantité d'eau refroidie disponible était insuffisante aux époques d'affluence; c'est pourquoi, en 1865, on construisit, sous la direction de M. de Gouvenain, ingénieur en chef des mines, sur une terrasse assez élevée, quatre bassins réfrigérants de 250 mètres carrés de superficie et 1 mètre de profondeur, au voisinage desquels on plaça une machine à vapeur destinée à élever l'eau de la source qui, une fois refroidie, redescend aux bains et aux douches.

Pour terminer ce qui est relatif à Néris, nous nous contenterons de remarquer qu'il serait extrêmement simple, si on le désirait, sans que la source perdît presque rien de sa température et de sa minéralisation, comme l'ont montré nombre d'expériences faites en Suisse, d'en amener une partie, par des conduites, à Montluçon qui est une ville importante où ces eaux, pendant l'hiver et la morte-saison, trouveraient peut-être un emploi fructueux.

2° **Évaux**. — Le captage des sources d'Évaux qui, ainsi que celui de Néris, remonte entièrement aux Ro-

Digitized by Google

mains, présente une application un peu différente des mêmes principes.

Quand, de la ville d'Évaux, on descend aux sources par un chemin qui suit, le long du thalweg d'un ravin, une ancienne route romaine, on aperçoit à ses pieds une sorte de fosse carrée d'une cinquantaine de mètres de côté, fermée au fond, presque dans toute sa largeur, par l'établissement thermal et, sur les deux côtés, par des parois entaillées verticalement dans le gneiss (Pl. XXII, *fig.* 2). Sur le quatrième côté, celui où l'on arrive, cette fosse est également limitée par un mur de soutènement avec une rampe d'accès pour la route disposée sur le côté.

Au milieu de cette fosse, dont le sol est encore recouvert, sur une grande partie de sa surface, par un revêtement de béton qui a constitué la partie essentielle du captage romain, on aperçoit, de divers côtés, en désordre, une série de piscines, bassins réfrigérants et quelques tuyaux de fonte ou cheminées en maçonnerie (*), servant à élever, pour le service des douches, l'eau de certaines sources. Ces sources, qui représentent évidemment la dispersion superficielle d'une venue unique, sont extrêmement nombreuses; on a pu, avec un peu de bonne volonté, en distinguer 28, dont 9 seulement ont été étudiées, en 1844, par M. Ossian Henry.

En voici l'énumération (**) :

1. Source de César. — Analyse Ossian, Henry et Legrip, et École des mines.
2. Source de l'Escalier. — Analyse d'Ossian Henry.
3. Source du Rocher. — On n'en connait pas l'origine; nouvellement captée et semble sortir du rocher. Analysée par l'École des mines en 1877.

(*) Jusqu'en 1893, ces cheminées de maçonnerie donnaient un aspect très spécial aux sources d'Évaux. Quelques-unes ayant crevé sous la pression de l'eau en 1893, on les a remplacées par des tuyaux en fonte démontables.

(**) Sur ces 28 sources, seules les sources 1 à 12 étaient connues lors du voyage d'Ossian Henry; les autres ont été découvertes en 1847. (Voir un mémoire de Coudert-Lavillatte).

4. Source Nouvelle. — Analysée par Ossian Henry.
5. Source des Galeux. — Non analysée.
6. Source des Pauvres. — Non analysée.
7. Source du Chemin. — Non analysée.
8. Source du Petit-Cornet. — Analyse de Legrip et Ossian Henry. Cette source provient d'un puits non encore découvert et qui paraît être situé, sous un chemin qui n'a pas encore été fouillé, entre la piscine ronde et le bassin carré chaud.
9. Sources du Bassin-Carré. — Sont au nombre de dix, non compris le Petit-Cornet qui s'y déverse, non compris également le puits du Milieu et celui du Bain-de-Vapeur ne communiquant pas avec le bassin. Analyse de l'École des mines.
10. Source du Puits-du-Milieu. — Analyse Ossian Henry. Communique avec le puits du Bain-de-Vapeur.
11. Source du Bain-de-Vapeur. — Analyse Ossian Henry et École des Mines.
12. Sources de la Piscine-Ronde. — Non analysée. Dallée en marbre et de bonne conservation; alimentée par trois sources situées aux bords; les puits d'émergence recouverts de ciment et de marbre, s'écoulaient par des tuyaux convergeant au centre où il a été trouvé une statuette antique en argent qui est au musée de Guéret.
13. Source Delamarre. — Analyse Ossian Henry.
14. Petite Source. — Non analysée.
15. Source d'Auguste. — Non analysée.
16. Source du Puits-Losange. — Non analysée.
17. Source Sainte-Marie. — Analyse de l'École des mines. — Buvette.
18. Source de Duratius. — Non analysée.
19. Source du Puits-Triangulaire. — Non analysée.
20. Source du Puits-Ovale. — Non analysée.
21. Source du Puits-Octogone. — Non analysée.
22. Sources du Bassin-Ovale. — Ce bassin renferme cinq puits dont quatre sont couverts de voûtes en ciment moderne et le cinquième est découvert. — Non analysée.
23. Source de la Margelle. — Non analysée.
24. Source Desglandes. — Non analysée.
25 et 26. Sources de Rome. — Non analysées. — Deux puits.
27. Source des Jeunes-Filles. — Analyse de l'École des mines.
28. Source du Ruisseau.

Observations. — La source de César, 1, est la première à gauche en arrivant à l'établissement; elle est encaissée dans un puits de construction romaine sur lequel repose, à quelques pieds au-dessus du sol, une cheminée moderne circulaire dans laquelle l'eau s'élève à 1 mètre du fond de la source et s'échappe par un trop-plein dans les piscines inférieures.

Tout à côté, on a trouvé, en 1844, la source Nouvelle, 4, qui remplit un bassin allongé recouvert d'une longue voûte demi-circulaire.

La source de l'Escalier, 2, se trouve sous l'escalier d'un petit bâtiment situé près de la source César et contenant cinq ou six baignoires.

La source du Petit-Cornet, 8, sans doute captée sous la chaussée centrale qui sépare les piscines, coule par un tube de plomb recourbé.

Les sources du Puits-du-Milieu, 10, et du Bain-de-Vapeur, 11, sont encaissées dans des puits de maçonnerie, au milieu de la piscine rectangulaire placée au-dessous des trois sources précédentes.

Digitized by Google

Les deux piscines rectangulaires 29 et 30, de la Pl. XXII, ne possèdent pas de sources; elles sont alimentées par la piscine ronde 12 et par le bassin ovale.

La piscine 29 est dallée en marbre romain bien conservé; la piscine 30 était également dallée de marbre, qui s'est effrité lorsqu'il a été découvert.

En 31 il y avait une baignoire de 4 mètres de longueur, dallée de marbre dont les restes sont encore sur place.

Le bain de vapeur V, figuré dans l'établissement actuel, est une pièce voûtée au milieu de laquelle jaillit en gerbe l'eau venant directement des puits n^{os} 10 et 11, s'élevant à 1 mètre au-dessus du sol; l'étuve est à 45°.

Quand on examine ces sources sur le terrain, on reconnaît aussitôt que celles situées à l'amont (César, Escalier, etc.), sont à la fois les plus chaudes et celles qui présentent une pression hydrostatique maxima; ce sont aussi les seules que l'on fait monter (très irrationnellement du reste) dans des tuyaux ou cheminées pour donner de l'eau aux réservoirs des douches. La schistosité du gneiss étant dirigée dans le sens du ravin, il est évident que les sources plus à l'aval n'en sont que des dérivations plus ou moins mélangées d'eau douce.

Ce qui frappe tout d'abord dans le captage des sources d'Évaux que nous venons d'énumérer, ce sont ces tuyaux de fonte verticaux ou ces cheminées de maçonnerie ayant jusqu'à 5 mètres de haut et visibles sur les Pl. XXII et XXIII, dont on a coiffé les griffons de certaines sources, qui sortent par suite en charge sous une colonne d'eau de plusieurs mètres.

Nous commencerons par dire un mot de cette disposition, qui serait absolument critiquable dans une station balnéaire où l'on n'aurait pas, comme ici, une grande surabondance d'eau thermale, puisqu'elle a pour effet de restreindre, dans une proportion très forte, le débit des sources ainsi captées.

On a fait là artificiellement, sur des sources d'abord jaillissantes, ce qui se produit naturellement pour nombre de sources incrustantes, notamment pour les sources calcaires de Hammam Meskoutine ou pour les geysers d'Islande et de Nouvelle-Zélande, où les dépôts s'accu-

Digitized by Google

mulent autour de l'orifice en forme de cheminées jusqu'à ce que leur hauteur soit telle que la source ne puisse plus jaillir et forme une vasque tranquille au fond d'un puits.

Cette charge, superposée au griffon d'une source, a pour effet nécessaire d'amener dans la source une tendance à sortir en un autre point voisin. Mais ici on se trouve garanti contre ce danger par le revêtement de béton romain qui préserve contre une fuite à l'aval et par les murailles de rochers surplombant les sources sur les trois autres faces qui les localisent très strictement. D'ailleurs les sources principales destinées au service des bains ne sont pas soumises à ce régime. Néanmoins il est évident que, le jour où la station se développerait, on aurait tout avantage à ramener les sources au niveau du sol pour augmenter leur débit et à élever, au moyen de pompes, la quantité d'eau que nécessiterait le service des douches.

A part cela, le captage, qui remonte, ainsi que nous l'avons dit, entièrement aux Romains, est fort simple. Quand les Romains ont découvert ces sources, il est évident qu'elles devaient suinter confusément, surtout en *c'*, *d'*, *e'* (Pl. XX, *fig.* 7) et jusqu'en *g*, comme elles le faisaient jusqu'en 1830 alors que l'excavation romaine avait été recomblée par les éboulis. Ils ont commencé par entailler le rocher au droit des griffons principaux *ab* en rejetant les remblais vers *g;* puis, autour de fosses où ils avaient circonscrit ces griffons, ils ont mis des massifs de béton. Ces massifs, figurés sur les coupes de la Pl. XXIII, ont une profondeur très inégale, depuis 0 jusqu'à 3^{m},50 et 4 mètres. Comme le sol sur lequel ils reposent a été entaillé artificiellement, cette irrégularité d'épaisseur n'est pas accidentelle, mais voulue : elle correspond au comblement partiel d'excavations dans lesquelles le griffon a été restreint à un puits de maçonnerie, parfois

Digitized by Google

même à une simple cheminée de plomb qu'on a laissée ouverte au milieu du béton. En bétonnant la partie d'aval où se trouvait, en outre, toute la masse des constructions romaines, on aveugla les dérivations secondaires qui n'avaient, comme nous l'avons fait remarquer, qu'une faible tendance à se porter de ce côté, puisque leur branchement sur la venue principale *ab* est certainement très voisin de la surface.

De notre temps, on n'a pas, à proprement parler, eu de captage à faire, le captage romain s'étant trouvé grandement suffisant ; on s'est donc contenté de le déblayer, de le remettre en état et toute l'attention s'est portée sur la construction d'un établissement thermal que nous n'avons pas à décrire ici.

BIBLIOGRAPHIE DE NÉRIS ET D'ÉVAUX

1670. **Duclos.** — Mémoires sur les eaux minérales adressés à l'Académie des sciences.

1766. **Michel.** — Analyse des eaux de Néris. (*Journal de médecine* pour 1766.)

1785. **Carrère.** — *Catalogue raisonné des eaux minérales.*

1805. **Mossier.** — Analyses de Néris. (*Journal général de médecine*, an VIII, t. VIII, p. 431.)

Vauquelin. — Analyses de Néris. (*Ann. de chimie*, t. LXXVII, p. 124.)

Berthier. — Analyses. (*Ann. des mines*, t. VI, p. 311.)

1822. **Boirot-Desserviers.** — *Recherches historiques et observations médicales sur les eaux thermales et minérales de Néris en Bourbonnais.*

1830. **Tripier.** — *Sur Évaux.* (Thèse de Montpellier, n° 11.)

1840. Tableau général des sources minérales connues en France. (*Compte rendu des travaux des ingénieurs des mines.*)

1841. **Falvart de Montluc.** — Rapport sur Néris.

1844. Description physique des sources minérales connues en France. (*Compte rendu des travaux des ingénieurs des mines.*)

1844. **Boulanger.** — *Statistique géologique de l'Allier*, p. 405.

1847. **Coudert-Lavillatte.** — Les bains d'Évaux. (*Mémoires de la Société des sciences naturelles de la Creuse*, Guéret, t. I, p. 23 à 72.)

1851-1854. *Annuaire des eaux de France.*

1854. **Frémy.** — Analyses de Néris. (*Ann. de la Société d'hydr. médicale*, t. I, p. 210.)

1854. **Laurès** et **Becquerel.** — Sur les conferves de Néris. (*Ann. de la Société d'hydr. médicale de Paris*, t. I.)

1855. **Esmonnot.** — Néris (Vicus Neriomagus). *Recherches sur ses monuments.* (Moulins, Auclaire, 1 vol. in-4°.)

1855 **Richond des Brus.** — *Notices sur les eaux thermales de Néris.*

1858. **Dr A. Maurin.** — *Étude historique et clinique sur les eaux minérales de Néris.* (Paris, Labé.)

1858. **Lefort.** — *Études chimiques sur les eaux de Néris* (Allier). (Rapport à la Société d'hydrologie médicale. Paris, Germer-Baillère.)

1860 **Ossian Henry.** — *Analyse chimique de l'eau minérale naturelle des sources d'Évaux.* (Paris, chez J.-B. Baillère.)

1860. **Durand-Fardel.** — *Dictionnaire des eaux minérales.* (Articles Néris et Évaux.)

Bussy. — *Annuaire des eaux minérales de France.*

Robiquet. — *Réflexions sur les eaux thermales de Néris.* (Étude des gaz.)

1862. **Forichon.** — *Observations sur les eaux thermales de Néris.*

Thudot. — *Étude historique sur Néris*, la ville Antique.

1865. **Aimé Cécyl.** — *Guide du baigneur à Néris.* (Néris, chez Lafont Marandet.)

1869. **C. de Laurès.** — *Les Eaux de Néris.*

1872. **Bonnet de Malherbe.** — *Guide médical à Néris.* (Paris, J.-B. Baillère.)

Dr Peyrot. — *Guide de Néris.*

1877. **Esmonnot.** — *Néris. Recherches sur ses monuments.* (Congrès des sociétés savantes.)

1883. Statistique détaillée des sources minérales exploitées ou autorisées en France et en Algérie.

1887. **Daubrée.** — Eaux souterraines (t. I, p. 284; t. II, p. 9, 63, 177).

1891. **Rayeur.** — L'Allier. (1 vol. in-8°, Moulins.)

1894. **Jacquot** et **Willm.** — Les Eaux minérales de la France, p. 113 à 116.

1894. Origine des bains d'Évaux (Creuse). (*Abeille de la Creuse*, 17 juillet au 24 août.)

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
I. — *Historique*	563
II. — *Gisement*	576
A. Géologie générale de la région	576
B. Gisement de la source de Néris	583
C. Gisement des sources d'Evaux	592
III. — *Propriétés physiques et chimiques des eaux*	595
A. Débit	595
B. Température	598
C. Propriétés physiques. Conferves	601
D. Composition chimique des eaux	603
IV. — *Captage et réfrigération*	612
Bibliographie	622

Digitized by Google

SUR L'OXYDATION DU COBALT ET DU NICKEL EN LIQUEUR ALCALINE.

APPLICATION AU DOSAGE VOLUMÉTRIQUE DE CES MÉTAUX.

Par M. AD. CARNOT, Inspecteur général des mines,
Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

Lorsqu'on décompose un sel de nickel par une dissolution de potasse ou de soude en excès, il se produit un hydrate de protoxyde, qui est vert clair et inaltérable à l'air. Dans les mêmes conditions, la décomposition d'un sel de cobalt fournit, à l'abri de l'air et surtout à chaud, un précipité d'hydrate blanc rosé, passant facilement au vert sale par suite de suroxydation à l'air.

Si l'on fait intervenir les réactifs oxydants ordinaires de la voie humide, chlore ou hypochlorites, brome, iode, en présence d'un excès d'alcali fixe, on obtient : avec le nickel, un précipité grenu et noir; avec le cobalt, un précipité grenu, mais de couleur brun noirâtre.

Rivot avait remarqué cette différence de teinte entre les deux suroxydes de nickel et de cobalt; mais il les avait considérés néanmoins comme présentant le même état d'oxydation. Il leur assignait, après dessiccation à 100°, les formules : $Ni^2O^3.2H^2O$ et $Co^2O^3.2H^2O$, et il recommandait le dosage pondéral des deux métaux sous cette forme de sesquioxydes hydratés (*).

Plus récemment, le Dr Fleischer a institué une méthode volumétrique de dosage du cobalt et du nickel, fondée

(*) L.-E. Rivot, *Docimasie*. Dunod, éditeur, 1864.

Digitized by Google

sur la similitude de composition des deux suroxydes, qu'il considère comme répondant toujours exactement à la formule : R^2O^3. Il fait, d'ailleurs, observer que les deux sesquioxydes se comportent différemment en présence de l'ammoniaque caustique; celui de nickel est réduit complètement, même à froid, par l'ammoniaque, tandis que celui de cobalt peut être chauffé et même bouilli pendant longtemps avec cet alcali sans éprouver d'altération. Il en déduit le procédé de dosage suivant.

On divise en deux parties égales la solution qui contient les deux métaux et, dans chacune, on précipite les deux peroxydes par la potasse et l'hypochlorite.

L'un des précipités est soumis à l'ébullition avec de l'ammoniaque, qui ramène le nickel à l'état de protoxyde; le cobalt, resté seul à l'état de sesquioxyde, « peut être déterminé exactement par traitement avec une quantité mesurée de sulfate de protoxyde de fer et titrage de l'excès de ce dernier par le caméléon, d'après l'équation suivante »:

$$Co^2O^3 + 2\,FeOSO^3 + 3\,SO^3 = 2\,CoOSO^3 + Fe^2O^3.\,3\,SO^3.$$

L'autre précipité n'est pas soumis à l'action de l'ammoniaque, mais introduit directement après lavage à l'eau pure, dans une solution mesurée de sulfate de fer, qui est ensuite titrée par le caméléon.

On calcule, par différence, la quantité du nickel.

Le Dr Fleischer ajoute que les analyses effectuées de cette manière lui « ont donné des nombres parfaitement concordants, comme cela était à prévoir, puisqu'il n'y a dans la méthode aucune source d'erreur (*) ».

Les expériences que je vais rapporter et dont j'ai déjà donné un résumé dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (*), montrent que le *principe* même de ces

(*) Dr E. Fleischer, *Traité d'analyse chimique par la méthode volumétrique;* traduit par le Dr L. Gautier. Savy, éditeur, 1880.

(*) *C. R.*, 25 mars 1889.

dosages est inexact, parce que le composé formé par le cobalt n'a pas la composition d'un sesquioxyde.

Mes expériences ont été faites en partant d'un poids déterminé de métal contenu dans un volume mesuré d'une solution de nickel ou d'une solution de cobalt préparée à l'avance.

Après addition du réactif oxydant et de la potasse, le liquide était porté à l'ébullition pendant dix minutes environ, puis laissé en repos. Le dépôt était lavé par décantation avec de l'eau alcaline et de l'eau pure ; tantôt l'eau était entièrement enlevée par filtration ; tantôt, pour éviter l'emploi du filtre, je tenais compte, dans l'opération suivante, de la petite quantité de liquide laissée par décantation avec le précipité, en opérant de la même façon sur un égal volume de la dernière liqueur décantée.

Pour déterminer dans le précipité la quantité d'oxygène *disponible*, c'est-à-dire en excédent sur l'oxygène du protoxyde, j'ai d'abord essayé de me servir de la méthode du sulfate ferreux ou de l'acide oxalique ajouté en quantité mesurée et ensuite du permanganate de potasse titré ; mais la présence du sel de cobalt occasionne une difficulté spéciale : sa coloration rose empêche, en effet, de saisir avec l'exactitude désirable le moment précis où apparaît la coloration rose donnée par les premières gouttes de permanganate en excès.

La même difficulté n'existe plus et les résultats sont bien plus sûrs avec la méthode de l'iodure de potassium et de l'hyposulfite de soude titré. Dans la fiole où se trouve le précipité de suroxyde à essayer (provenant de la décantation ou détaché du filtre au moyen de la fiole à jet), on verse une quantité mesurée d'une solution titrée d'iodure alcalin pur (parfaitement exempt d'iodate), puis un peu d'acide chlorhydrique dilué, et on laisse la dissolution s'achever à froid. Dès que le précipité a

Digitized by Google

disparu, on dose l'iode libre au moyen d'une solution décinormale d'hyposulfite de soude, versée jusqu'à décoloration de la liqueur. On termine en ajoutant un peu d'amidon et versant une solution centinormale d'iode jusqu'à coloration en bleu.

Les lectures faites sur les burettes graduées font connaître la proportion d'iode mis en liberté et, par conséquent, la proportion d'oxygène enlevée au suroxyde de cobalt ou de nickel, lorsque celui-ci est ramené à l'état de sel de protoxyde. On sait, d'autre part, exactement, par le volume de solution employée, le poids du métal mis en expérience. On peut donc déterminer avec précision la composition du suroxyde formé.

Sans donner ici les résultats partiels des expériences, qui ont été très nombreuses, je puis les résumer de la manière suivante :

L'oxyde *noir* de nickel, précipité par l'hypochlorite alcalin ou par le brome, en présence de la potasse en excès, présente (indépendamment de l'eau combinée), la composition exacte d'un sesquioxyde : Ni^2O^3.

L'oxyde de cobalt *brun noirâtre* obtenu par l'emploi de l'hypochlorite, du brome ou de l'iode, renferme toujours une proportion d'oxygène notablement plus grande que celle qui correspond au sesquioxyde.

Pour 10 atomes de cobalt on trouve, après suroxydation de l'hypochlorite, non pas 5, mais 6 atomes d'oxygène en excédent sur le protoxyde; après peroxydation par le brome ou par l'iode, on trouve 6,25 atomes d'oxygène. Par conséquent au lieu de $Co^{10}O^{15}$, qui exprimerait la composition du sesquioxyde, on trouve $Co^{10}O^{16}$ après emploi de l'hypochlorite et même $Co^{10}O^{16,25}$ après emploi du brome ou de l'iode.

J'avais été tenté d'abord d'attribuer la différence à quelque défaut de lavage, laissant un peu de la liqueur oxydante avec le précipité ; mais les expériences répétées

Digitized by Google

avec le plus grand soin m'ont donné la certitude qu'il n'en était rien.

D'ailleurs, les différences de couleur et de composition, observées entre les suroxydes que forment les deux métaux, paraîtront moins surprenantes, si on les rapproche des différences que présentent le cobalt et le nickel dans d'autres circonstances. Je signalerai notamment l'action de l'eau oxygénée.

Si l'on opère la précipitation par la potasse après addition d'eau oxygénée en excès et que l'on porte à l'ébullition, on observe que :

1° Le précipité fourni par le nickel est vert clair, absolument comme en l'absence d'eau oxygénée; l'essai oxydimétrique montre que c'est véritablement de l'hydrate de protoxyde de nickel;

2° Le précipité obtenu avec le sel de cobalt est d'un *brun assez clair*, très facile à distinguer, à la simple vue, des suroxydes obtenus par le brome, l'iode ou les hypochlorites.

En l'essayant par la méthode précédente (iodure de potassium, acide chlorhydrique et hyposulfite de soude), j'ai trouvé que la proportion d'oxygène disponible est exactement de 1 atome pour 2 atomes de cobalt; c'est-à-dire que sa composition répond exactement à la formule du sesquioxyde : Co^2O^3.

La différence d'aspect si frappante, qui existe entre le sesquioxyde produit par l'eau oxygénée et les autres suroxydes de cobalt, est donc bien d'accord avec la différence de leurs compositions.

Le suroxyde obtenu par l'emploi du brome ou de l'iode n'est pas un sesquioxyde, mais devrait être représenté par la formule $Co^2O^{3,25}$ ou Co^8O^{13}. Peut être devrait-on le considérer comme un oxyde salin formé par du bioxyde uni à du sesquioxyde de cobalt :

$$Co^8O^{13} = 2\,CoO^2.\ 3\,Co^2O^3.$$

Digitized by Google

L'oxyde produit par l'hypochlorite pourrait, de la même façon, être considéré comme un oxyde salin :

$$Co^{10}O^{16} = 2\,CoO^2.\ 4\,Co^2O^3.$$

Mais, sans s'arrêter davantage à des interprétations hypothétiques, on ne peut hésiter à conclure des expériences précédentes que la formule attribuée jusqu'ici aux peroxydes de cobalt formés par les oxydants ordinaires est réellement inexacte.

Au point de vue analytique, l'erreur n'est pas très importante, si l'on calcule le cobalt d'après le poids du peroxyde; car elle ne dépasse pas 1,14 p. 100 de la teneur réelle. Mais elle est bien autrement grave si l'on emploie la méthode volumétrique de Fleischer ; en effet, attribuer au suroxyde la formule Co^2O^3 au lieu de la formule $Co^2O^{3,25}$, c'est donner à l'oxygène *disponible* par rapport au cobalt, une valeur trop faible dans le rapport de 1 à 1,25 ou de 4 à 5.

Inversement, lorsqu'on estime le cobalt d'après la quantité d'oxygène disponible, la formule Co^2O^3 fait attribuer au métal une valeur exagérée dans la proportion de 5 à 4, c'est-à-dire de 20 p. 100 trop grande.

Ces observations aboutissent donc aux conclusions pratiques suivantes :

La méthode volumétrique, appliquée au peroxyde de nickel seul, précipité par la potasse ou la soude après action du chlore, du brome ou d'un hypochlorite, donne des résultats exacts, en même temps que rapides, puisque la composition du suroxyde, après un bon lavage, répond toujours à la formule Ni^2O^3.

Quant au cobalt, on n'est en droit de lui attribuer cette formule, que s'il a été précipité par la potasse ou la soude caustique en présence d'eau oxygénée.

Dans ce cas seulement, on a vraiment du sesquioxyde, qui, après ébullition et lavage, pourra fournir un bon

Digitized by Google

dosage volumétrique par la méthode exposée plus haut de l'iodure de potassium.

Lorsque les deux métaux se trouveront réunis, on pourra les déterminer avec sûreté par les opérations suivantes :

A. *Estimation du poids total des deux métaux.*

On précipite de la dissolution les deux métaux ensemble par le brome et la potasse, on fait bouillir, on lave avec soin les deux suroxydes, puis on calcine, on réduit par l'hydrogène et, après un nouveau lavage destiné à enlever les dernières traces d'alcali, on pèse ensemble les deux métaux : cobalt et nickel.

B. *Estimation séparée du cobalt et du nickel.*

On dissout les métaux par l'acide nitrique ou l'eau régale, on étend d'eau et on fait de la dissolution deux parts égales :

1° Dans l'une, on dose le *cobalt* indépendamment du nickel, en précipitant par l'eau oxygénée et la potasse et faisant bouillir, de manière à chasser entièrement l'eau oxygénée; le nickel étant à l'état de protoxyde et le cobalt à l'état de sesquioxyde, on évalue ce dernier par la méthode de l'iodure de potassium et de l'hyposulfite de soude;

2° Dans l'autre moitié, on sature les acides par la potasse, on ajoute du cyanure de potassium jusqu'à redissolution du précipité, formé d'abord, puis versant du brome et portant à l'ébullition, on détermine la précipitation du *nickel* seul à l'état de sesquioxyde, tandis que le cobalt reste dissous à l'état de cobalticyanure.

Le sesquioxyde de nickel, après un bon lavage, est dosé volumétriquement soit par la méthode de l'iodure de potassium, soit par celle de l'acide oxalique. — On pourrait aussi le doser pondéralement en calcinant l'oxyde dans un courant d'hydrogène et pesant le nickel métallique.

Des trois opérations indiquées, deux suffisent pour doser le cobalt et le nickel. La troisième a donc seulement pour but de servir de contrôle aux deux premières.

Digitized by Google

SUR L'OXYDATION DU COBALT ET DU NICKEL EN LIQUEUR AMMONIACALE.

APPLICATION AU DOSAGE PONDÉRAL DE CES MÉTAUX.

Par M. Ad. CARNOT, Inspecteur général des mines.
Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

Le problème de la séparation du cobalt et du nickel a été l'objet d'un très grand nombre de recherches. Je me bornerai à rappeler celles fondées sur les différences de propriétés que présentent les sels de ces deux métaux lorsqu'on les a soumis à une oxydation en liqueur ammoniacale.

C'est à M. Fremy que l'on doit la découverte des sels doubles renfermant à la fois du sesquioxyde de cobalt et de l'ammoniaque, sels que j'appellerai, par abréviation, *sels ammonio-cobaltiques*.

M. Terreil a, le premier, songé à utiliser pour l'analyse le peu de solubilité de certains de ces sels dans une solution acide. Il conseilla de faire bouillir la solution ammoniacale avec du permanganate de potasse en léger excès pour peroxyder le cobalt, puis d'acidifier la solution par l'acide chlorhydrique (*). Pendant le refroidissement, il se dépose du chlorure purpuréo-cobaltique en petits grains cristallins ; mais une partie notable du co-

(*) *Comptes rendus*, 1866; t. LXII, p. 139.

Digitized by Google

balt échappe à la précipitation, à moins que les liqueurs ne soient très concentrées. Le procédé ne convient donc pas à l'analyse proprement dite; mais il peut être utilisé pour la préparation de sels de cobalt complètement exempts de nickel.

M. Delvaux a proposé de peroxyder de même par le permanganate de potasse en présence de sels ammoniacaux et d'ammoniaque en excès et de précipiter ensuite le nickel par la potasse caustique (*). La majeure partie du cobalt reste dissoute; mais une quantité importante se trouve retenue par le précipité avec le peroxyde de manganèse et l'oxyde de nickel. La perte peut à peine être négligée après deux précipitations successives du nickel par le même procédé.

M. Vortmann prend pour agent d'oxydation l'hypochlorite de soude et chauffe la dissolution ammoniacale des deux métaux avec ce réactif pour transformer le sel cobalteux en sels purpuréo- et lutéo-cobaltiques. Après refroidissement et addition d'eau pure, il précipite le protoxyde de nickel par la potasse en excès. Les sels ammonio-cobaltiques colorent la liqueur en rouge, s'il y en a une quantité sensible; en jaune, s'il n'y a que des traces de cobalt (**). Cette méthode, qui n'a pas été employée pour les dosages, fournit, au point de vue qualitatif, de très bonnes indications.

Mes premières recherches ont été faites un peu dans la même voie (***). J'ai commencé par étudier les effets produits par le brome et l'eau oxygénée en présence de sels ammoniacaux et d'ammoniaque en excès.

Pour employer le *brome*, il faut que la liqueur soit froide et contienne une certaine quantité d'acide chlorhydrique ou de sel ammoniac. Au moment où elle vient à

(*) *Comptes rendus*, 1876; t. XCII, p. 723.
(**) *Monatshefte für Chemie*, 1883; t. IV, p. 1.
(***) *Comptes rendus*, 8 avril 1889.

Digitized by Google

être sursaturée par l'ammoniaque, il se fait un vif dégagement de bulles gazeuses et la solution devient aussitôt rose clair si elle ne renferme que du cobalt; violette, si elle contient les deux métaux. Il convient de chauffer quelques minutes pour amener tout le cobalt à l'état de sel roséo-cobaltique.

L'*eau oxygénée* peut être ajoutée avant ou après sursaturation par l'ammoniaque; à froid, il se produit d'abord une coloration brune, qui, dans l'espace de quelques minutes, passe au rouge pourpre ou au rose, suivant qu'il y a plus ou moins de cobalt; elle passe au rose violacé, si la proportion de nickel est importante. A chaud, la même transformation s'opère en quelques instants, mais il faut laisser refroidir ensuite la solution pour pouvoir apprécier la coloration finale; car, si la teinte bleue du nickel en solution ammoniacale se maintient à chaud, celle du cobalt diminue beaucoup d'intensité et peut cesser d'être appréciable à l'œil, lorsque la liqueur est chaude et renferme très peu de nickel. La réaction indiquée fournit un excellent caractère qualitatif pour le cobalt. Le caractère devient d'ailleurs encore plus net après la précipitation du nickel, comme je vais l'indiquer tout à l'heure.

La solution ammoniacale peut être chauffée et maintenue quelque temps à 100°, sans cesser d'être limpide, s'il y a assez de sel ammoniac. Le cobalt est d'abord à l'état de sel roséo-cobaltique dans la liqueur pourpre. L'ébullition un peu prolongée donne naissance à du sel lutéo-cobaltique, de coloration plus jaunâtre.

Si l'on continue à chauffer, la solution tourne au rouge brun et se trouble. Il se fait un dépôt brun de sesquioxyde de cobalt; mais ce dépôt n'arrive pas à être complet. Il renferme d'ailleurs de l'oxyde de nickel; on ne saurait donc compter sur ce moyen pour séparer les deux métaux.

Digitized by Google

L'addition faite à froid de potasse caustique dans la solution purpuréo-cobaltique ne précipite pas le cobalt. Elle détermine au contraire la précipitation complète du nickel dans une solution ammoniacale, pourvu que la potasse soit en excès suffisant, excès variable avec la quantité de sel ammoniacal et d'ammoniaque libre.

Dans un mélange des deux sels il se produit un dépôt verdâtre, que l'on pourrait croire exclusivement formé d'hydrate de protoxyde de nickel. Mais lorsqu'on le reçoit sur un filtre, il est facile de reconnaitre qu'il est d'un vert plus sombre que cet hydrate pur; si on le traite ensuite, toujours à froid, par l'acide azotique très dilué, on voit qu'il laisse un résidu brun et que, d'ailleurs, la solution elle-même est colorée en jaune rosé ou en brunâtre par un peu de sel cobaltique.

Il faut dissoudre le précipité et recommencer l'opération jusqu'à trois fois, pour obtenir une séparation complète ou du moins pour ne laisser avec le nickel qu'une proportion minime et négligeable de cobalt. Ce résultat obtenu, on peut doser le nickel en le transformant en peroxyde par ébullition avec de la potasse et du brome; le cobalt peut être, de son côté, précipité par l'hydrogène sulfuré. Mais la longueur des opérations m'empêche de recommander cette méthode de séparation quantitative.

Au point de vue qualitatif, au contraire, la réaction donne des indications très sensibles, parce que la coloration rose de la liqueur, après élimination du nickel, suffit à indiquer de simples traces de cobalt, la coloration n'étant plus aucunement masquée par la teinte bleue de la solution ammoniacale de nickel.

Après différentes recherches dans le but d'obtenir avec les sels ammonio-cobaltiques une netteté de séparation que ne fournissait pas suffisamment l'emploi de la potasse, je la trouvai enfin dans un nouveau genre

Digitized by Google

de sels, qui n'avait pas encore été signalé, celui des molybdates. Je reconnus que le *molybdate roséo-cobaltique* est presque insoluble en liqueur froide et neutre, tandis que dans les mêmes conditions le molybdate de nickel et d'ammoniaque reste très soluble. Ce caractère peut servir à reconnaître la présence du cobalt, même en très petite quantité, pour le doser en présence du nickel et de divers autres métaux (*).

Il faut tout d'abord amener le cobalt à l'état de sel roséo-cobaltique et, pour cela, ajouter à la dissolution chlorhydrique, ainsi que je l'ai dit plus haut, du brome ou de l'eau oxygénée, puis un excès d'ammoniaque et, en outre, une solution de sel ammoniac, si l'on croit qu'il n'y en ait pas assez déjà par suite de saturation de l'acide libre, puis chauffer pendant quelques minutes et laisser refroidir.

Si l'on verse alors du molybdate d'ammoniaque dans la liqueur ammoniacale, on n'aperçoit aucun trouble, ni aucun changement de couleur; mais, si l'on vient à neutraliser exactement la liqueur soit par l'acide azotique très dilué, soit par l'acide acétique étendu d'eau, on voit se produire un précipité volumineux d'un beau rose fleur de pêcher.

Une agitation un peu vive active la formation et le dépôt du précipité rose; il est d'ailleurs facilement soluble dans un excès d'acide, plus rapidement encore dans un excès d'ammoniaque, mais presque insoluble dans les solutions aqueuses de sels ammoniacaux et davantage encore dans l'eau renfermant quelques centièmes d'alcool.

On peut aisément recueillir le précipité rose sur un filtre, le laver à l'eau faiblement alcoolisée (à 1/100^e, par exemple), puis le sécher sur le filtre. Il conserve

(*) *Comptes rendus*, 15 juillet 1889.

sa coloration rose jusqu'à 100°; chauffé progressivement au delà de 100° et jusqu'au rouge sombre, il prend d'abord une teinte violacée et passe ensuite par des colorations vert noirâtre et jaune verdâtre, qui correspondent à des dégagements successifs d'eau, puis d'ammoniaque et enfin d'oxygène. La matière finit par être amenée à l'état de molybdate de protoxyde de cobalt; elle est colorée en lilas après refroidissement. Si l'on dépasse la température du rouge sombre, le composé éprouve une dissociation partielle avec formation d'oxyde noir de cobalt et d'anhydride molybdique en petits cristaux blanchâtres.

L'analyse du sel rose, desséché à 100°, a été faite : 1° en le décomposant par une solution de potasse et recueillant l'*ammoniaque* dans une solution titrée d'acide sulfurique; 2° en isolant de la liqueur potassique le sesquioxyde brun de *cobalt* et dosant le métal après réduction dans l'hydrogène; 3° en transformant le molybdate alcalin dissous en sulfomolybdate, qu'on décompose ensuite, de manière à doser le *molybdène* à l'état de sulfure après calcination; 4° l'*eau* est determinée par différence.

J'ai ainsi trouvé pour le sel desséché la composition :

$$Co^2O^3.\ 10\,AzH^3.\ 7\,MoO^3 + 3\,H^2O.$$

Pour le sel calciné, l'analyse a donné :

$$2\,CoO.\ 7\,MoO^3.$$

On obtient une confirmation des résultats précédents en partant d'un poids connu de cobalt, qu'on transforme en molybdate ammonio-cobaltique et en molybdate cobalteux, dont on prend le poids après dessiccation et après calcination ménagée.

Il est à remarquer que ni les sels de nickel, ni les sels

Digitized by Google

de protoxyde de cobalt ne donnent aucun précipité avec le molybdate de cobalt dans une solution étendue, soit acide, soit ammoniacale. Il ne se produit un dépôt cristallin de molybdate double d'ammoniaque et de cobalt ou de nickel que lentement et dans une liqueur assez concentrée.

La réaction que je viens d'indiquer donne donc le moyen, que l'on ne possédait pas encore, de reconnaître dans une solution la présence simultanée de *sel cobalteux* et de *sel roséo-cobaltique* et même de les séparer en précipitant ce dernier à l'état de molybdate; car il suffit de neutraliser entièrement par l'acide acétique la dissolution ammoniacale contenant les deux sels et d'y ajouter le réactif molybdique neutre pour avoir dans le précipité tout le sel cobaltique et dans la liqueur tout le sel cobalteux.

Cela permettra de résoudre certaines questions, que l'on peut avoir intérêt à éclaircir dans certains cas, notamment pour suivre les progrès de la peroxydation du cobalt dans des solutions ammoniacales abandonnées à l'air libre ou traversées par un courant d'air.

Le nickel n'éprouvant aucune peroxydation par l'eau oxygénée en liqueur ammoniacale pendant qu'il y a transformation du cobalt en sel ammonio-cobaltique, on peut se servir de la méthode pour obtenir une *séparation effective du cobalt et du nickel*.

Il convient d'opérer de la manière suivante :

Les deux métaux étant en solution chlorhydrique ou régale, on ajoute un peu de brome ou quelques centimètres cubes d'eau oxygénée, puis 3 ou 4 grammes de sel ammoniac; on sursature par l'ammoniaque en assez grand excès et on agite aussitôt; la solution change de couleur et laisse dégager une multitude de petites bulles gazeuses. On chauffe doucement jusque vers 100° et, après environ cinq minutes d'ébullition, on laisse refroi-

dir; on étend encore d'eau froide, si la coloration de la liqueur indique qu'elle est trop concentrée.

Dans la solution ammoniacale froide on verse de l'acide azotique dilué, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement neutralisée. On se guide à la fin sur la teinte prise par un papier de tournesol au contact du liquide et l'on s'arrête au moment où la couleur passe du bleu au rouge; si l'on a mis un excès d'acide, il convient de revenir en arrière par quelques gouttes d'ammoniaque et de saturer de nouveau par l'acide azotique ou l'acide acétique dilué, en dépassant très peu le point de neutralité au tournesol. On est d'ailleurs, en même temps, averti de la sursaturation par un changement de teinte de la solution, qui passe de la teinte violacée à une teinte rougeâtre; le changement est très sensible, si la quantité des métaux, cobalt et nickel, est un peu notable.

On verse alors dans la liqueur, qui est restée jusque-là bien limpide, une solution neutre de molybdate d'ammoniaque, qui produit aussitôt un précipité rose. On ajoute du réactif aussi longtemps qu'il produit un trouble nouveau. On secoue la fiole un peu vivement et on laisse le précipité se rassembler au fond de la fiole. On s'assure qu'un peu du réactif ne donne plus de trouble. On procède alors à la décantation sur un filtre uni, taré à l'avance; on y fait passer le précipité; on le lave avec de l'eau contenant un peu de sel ammoniac et on termine avec de l'eau faiblement alcoolisée.

On sèche à 100° et on pèse le précipité desséché sur son filtre; le poids trouvé étant p, celui du cobalt est 0,08626 p. Le précipité desséché pèse donc 11,6 fois autant que le cobalt contenu.

On peut aussi séparer le papier et le brûler à part, puis chauffer le précipité desséché avec les cendres du filtre, sur la lampe, sans dépasser le rouge sombre. On laisse refroidir et on pèse. Le coefficient à employer pour

Digitized by Google

passer de ce poids à celui du cobalt est 0,10397. Le poids du sel calciné est donc encore presque dix fois égal à celui du métal.

Le précipité de molybdate ammonio-cobaltique est très volumineux et très caractéristique. La méthode fournit, par conséquent, un moyen de recherche qualitative extrêmement sensible; elle m'a plusieurs fois révélé la présence de traces de cobalt dans les sels de nickel du commerce.

Elle peut être appliquée à la recherche et au dosage du cobalt en présence du zinc et du cuivre aussi bien que du nickel.

Il importe, pour le succès de la séparation et du dosage, que l'eau oxygénée soit entièrement détruite ou expulsée par ébullition de la liqueur fortement ammoniacale. S'il en restait dans la solution refroidie et neutralisée, dans laquelle on verse le molybdate d'ammoniaque, il y aurait formation de permolybdate, dont les propriétés sont différentes de celles du molybdate et la précipitation du sel roséo-cobaltique serait incomplète. J'ai eu plusieurs exemples d'insuccès dans des cas semblables et je dois mettre en garde contre cette cause d'erreur.

Après la précipitation du sel roséo-cobaltique, la liqueur doit être devenue complètement incolore, s'il n'y a pas de nickel. Il arrive parfois qu'il subsiste une teinte rose extrêmement légère, difficile à distinguer si ce n'est par comparaison devant un papier blanc. La proportion de cobalt qui produit cette coloration est alors tout à fait négligeable, car la solution roséo-cobaltique est très colorante.

Pour doser le nickel dans la solution filtrée, le plus simple est d'y mettre de la potasse ou de la soude caustique en quantité suffisante et de chauffer à l'ébullition, de manière à chasser l'ammoniaque et à précipiter com-

plètement l'hydrate d'oxyde de nickel. On le reçoit sur un filtre, puis on le redissout par l'acide chlorhydrique et on précipite de nouveau en employant la potasse et le brome. Le sesquioxyde ainsi obtenu ne retient aucune trace de molybdate et peut être dosé volumétriquement au moyen de l'acide oxalique et du permanganate, ou bien par l'iodure de potassium et l'hyposulfite de soude. On peut aussi terminer en pesant le nickel métallique après réduction dans l'hydrogène au rouge.

La méthode de séparation du cobalt et du nickel que je viens d'exposer convient particulièrement pour les cas où le cobalt est en faible proportion et où l'on attache une importance spéciale à sa détermination exacte. On peut se dispenser de faire le dosage spécial du nickel, si l'on a, au début, pesé ensemble le cobalt et le nickel à l'état métallique.

Digitized by Google

BULLETIN.

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE

AUTRICHE.

Loi du 31 décembre 1893 (*) sur les directeurs et les surveillants de l'exploitation des mines.

(RÉSUMÉ.)

L'exploitation technique de toute mine (**), sauf l'exception dont il va être parlé, doit être placée sous la direction d'un ingénieur diplômé d'une des académies de mines (*Bergakademie*) (***) nationales, qui justifie, en outre, de trois ans de pratique dans les mines (Loi, § 1). De ces trois années deux au moins doivent avoir été employées dans les travaux mêmes de l'exploitation des mines et trois mois au moins au lever des plans (Reg. minist., § 1).

Le ministre des travaux publics peut accepter le diplôme d'une École étrangère en remplacement de celui d'une École nationale (L., § 1).

Par exception au principe général qu'on vient de dire, l'administration peut autoriser des mines peu importantes et peu dangereuses à avoir un directeur justifiant simplement de sa capacité par ses emplois antérieurs (L., § 2 et § 3).

A cet effet on doit justifier, en outre des conditions de service demandées aux élèves diplômés des Écoles, qu'on a été occupé trois mois au moins au service des machines et que pendant trois mois au moins on a été préposé, sous les ordres immédiats d'un directeur diplômé, à la conduite directe des travaux souterrains d'une mine ou de l'une de ses parties (Règl., § 2).

(*) La loi du 31 décembre 1893 est complétée par un règlement ministériel du 21 avril 1894.

(**) Il faut entendre par là toute exploitation de substance soumise au droit minier.

(***) Il y a en Autriche deux de ces *Bergakademien*, l'une à Leoben, l'autre à Przibram.

Digitized by Google

En principe on doit s'être familiarisé dans son stage avec des exploitations de conditions analogues (mines de houille à grisou, mines à feux, mines à venues d'eau) à celle que l'on doit diriger. D'autre part, pour des exploitations très réduites, ne présentant aucune circonstance spéciale, l'administration peut accepter des dérogations aux règles normales (Règ., *id.*).

Le directeur est responsable, avec l'exploitant, de l'exécution des lois et règlements sur la conduite des travaux (L., § 4).

Quiconque assumerait la direction d'une mine sans satisfaire aux conditions de la loi est passible d'une amende de 50 florins (L., § 8).

L'exploitant qui n'a pas un directeur régulier peut être frappé d'une amende pouvant s'élever, après avis à lui donné par l'administration des mines, jusqu'à 10 florins par jour. En outre, la mine peut être fermée par voie administrative jusqu'à ce que l'exploitant se soit conformé à la loi (L., § 6).

Les surveillants placés sous les ordres des directeurs doivent avoir le diplôme d'une École de mines (*Bergschule*) (*) secondaire ou justifier de leur capacité par des certificats (L., § 9). Les surveillants qui ne sont pas préposés à un travail spécial, doivent, à cet effet, établir qu'ils savent lire et écrire, et qu'ils ont été occupés trois ans au moins aux divers travaux qui peuvent être exécutés dans une mine (Règ., § 3). Les contremaîtres d'une spécialité déterminée peuvent ne justifier que de deux ans d'emploi dans les travaux de cette spécialité (*Id.*).

Les directeurs et surveillants en exercice au moment de la promulgation de la loi, sont maintenus et considérés comme habilités à fonctionner régulièrement dans l'avenir comme directeurs et surveillants d'autres exploitations (L., § 12).

PRUSSE.

Ordonnance du 28 mai 1894 sur l'emploi des ouvriers des mines (**).

(RÉSUMÉ.)

Il est interdit d'occuper dans les travaux souterrains des enfants

(*) On compte en Autriche six de ces *Bergschulen*, à Przibram, Wieliczka, Klagenfurt, Leoben, Mahrisch-Ostrau, Dux.

(**) Cette ordonnance a été rendue par l'administration des mines en vertu de ses pouvoirs spéciaux de police sur les mines. Elle ne touche pas à proprement parler aux règles sur l'emploi des enfants dans les mines ; cette

Digitized by Google

de moins de 16 ans (*), et d'y admettre des ouvriers qui n'y auraient pas travaillé avant 60 ans (§ 1).

On ne peut travailler dans une mine comme « mineur indépendant » aux travaux proprement dits du mineur que si l'on a 21 ans et que l'on ait été occupé à des travaux de mine 3 ans, dont 1 an au moins sous la surveillance d'un « mineur indépendant » (§ 2).

Dans tout chantier occupant plusieurs ouvriers, l'un d'eux au moins doit remplir les conditions de « mineur indépendant » (§ 3). C'est l'ancien du chantier (*Ortsälteste*).

On doit porter les indications sus-mentionnées tant sur le registre de contrôle de la mine que sur les certificats et livrets des intéressés (§ 4).

ALLEMAGNE.

Ordonnance du 1er février 1895 sur le travail des enfants dans les mines.

Le travail des enfants dans les mines est, en principe, réglé en Allemagne par les dispositions générales de la *Gewerbeordnung*, c'est-à-dire par les dispositions du droit commun industriel. Aux termes du paragraphe 139 *a* de la *Gewerbeordnung*, le conseil fédéral peut autoriser des dérogations à ce régime en faveur de certaines industries dont la nature des travaux justifierait ces exceptions. De pareilles dérogations viennent d'être édictées pour les mines en vertu de l'ordonnance promulguée par le chancelier de l'empire le 1er février 1895.

En principe, d'après le paragraphe 135 de la *Gewerbeordnung*, les enfants de 14 à 16 ans peuvent travailler 10 heures par jour, et cela entre 5h 1/2 du matin et 8h 1/2 du soir, d'après le paragraphe 136 D'après ce dernier paragraphe les enfants doivent, en outre, avoir au moins un repos de une heure à midi et d'autres repos d'une demi-heure, l'un avant et l'autre après midi. Pour les enfants qui ne seraient occupés que 6 heures par jour, il

---

réglementation dépend de la *Gewerbeordnung* ou du droit commun industriel de l'Empire, comme on va le dire à propos de l'ordonnance d'Empire du 1er février 1895; mais on voit que, en vertu de dispositions de police minérale, lesquelles appartiennent à la législation d'État, on peut pour les mines ajouter aux règles du droit commun industriel de l'Empire.

(*) D'après la *Gewerbeordnung* (§ 135), les enfants peuvent travailler à partir de 13 ans.

suffit d'un seul repos d'une demi-heure au moins. Enfin le paragraphe 138 exige l'affichage et l'envoi à l'autorité chargée de la surveillance, des heures du commencement et de la fin du travail et de chaque repos.

A ce régime normal l'ordonnance du 1[er] février 1895 apporte les diverses dérogations suivantes pour les enfants de plus de 14 ans occupés au jour à des travaux liés directement à l'extraction des charbons (*) :

1° Ils peuvent commencer le travail à 5 heures du matin, soit une demi-heure plus tôt et le continuer jusqu'à 11 heures du soir, soit 2h 1/2 plus tard, à la condition de travailler par poste de 8 heures, les postes étant séparés par 12 heures de repos au moins, et les enfants devant avoir dans chaque poste un ou plusieurs repos d'une durée totale d'environ une heure; deux des repos doivent être au moins d'un quart d'heure ou trois d'au moins dix minutes (§ 1).

Les samedis et veilles des jours de fête le travail peut même commencer à 4 heures du matin et se terminer le jour ouvrable suivant à 1 heure de la nuit (*Id.*).

2° Si ces enfants ne devaient travailler que 6 heures, on peut supprimer le repos prévu par le paragraphe 136 de la *Gewerbeordnung* lorsque la nature de l'occupation entraîne avec elle des interruptions de travail. En outre, les heures du commencement et de la fin du travail peuvent être celles indiquées ci-dessus au 1° (§ 2).

3° Ce régime ne peut être appliqué qu'aux enfants munis d'un certificat médical approprié (§ 3).

4° Enfin, par dérogation à la règle du paragraphe 138 de la *Gewerbeordnung*, l'exploitant peut être dispensé d'afficher et de signaler les heures du commencement et de la fin des repos lorsque la nature du travail entraîne des interruptions de la même durée au moins que celles ci-dessus indiquées.

L. A.

(*) Ces dérogations constituent, en somme, un régime de faveur et un régime de faveur très sensible pour les enfants occupés au jour; on pourrait voir là une sorte de compensation aux dispositions de l'ordonnance prussienne précédente qui écarte les enfants des travaux souterrains jusqu'à 16 ans.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE

PREMIER SEMESTRE DE 1895 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

André (D.). — Mémoire sur le triangle des séquences. In-4°, 92 p. Paris, Imp. nationale. (Extrait des *Mém. présentés par divers savants à l'Acad. des sciences de l'Institut de France.*) (4301)

Appell (P.) et E. Goursat. — Théorie des fonctions algébriques et de leurs intégrales; Étude des fonctions analytiques sur une surface de Riemann. In-8°, x-542 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 16 fr. (4310)

Bouasse (H.). — Introduction à l'étude des théories de la mécanique. In-8°, 311 p. avec fig. Paris, G. Carré. (386)

Dumont (F.). — Essai d'une théorie élémentaire des surfaces du troisième ordre. II. In-8°, 96 p. Annecy, imp. Dépollier et Cie. (1631)

Hadamard (J.). — Sur les mouvements de roulement. In-8°, 25 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sc. phys. et el nat. de Bordeaux.*) (1659)

Henry (C.). — Abrégé de la théorie des fonctions elliptiques, à l'usage des candidats à la licence ès sciences mathématiques. In-8°, 126 p. avec fig. Paris, Nony et Cie. (3437)

(*) Les numéros qui figurent à la suite de chaque ouvrage sont ceux sous lesquels ces ouvrages sont respectivement inscrits dans la Bibliographie française et dans les Bibliographies étrangères.

LACOUR (E.). — Sur des fonctions d'un point analytique à multiplicateurs exponentiels ou à périodes rationnelles (thèse). In-4°, 53 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1924)

LE ROUX (J.). — Sur des intégrales des équations linéaires aux dérivées partielles du second ordre à deux variables indépendantes (thèse). In-4°, 95 p. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1937)

PAPELIER (G.). — Leçons sur les coordonnées tangentielles. Deuxième partie : Géométrie dans l'espace. In-8°, 364 p. Paris, Nony et Cᵉ. (4467)

PICART (L.). — Sur le mouvement d'un corps de figure variable. In-8°, 23 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sc. phys. et nat. de Bordeaux.*) (1744)

Répertoire bibliographique des sciences mathématiques. 1ʳᵉ série (Fiches 1 à 100). 100 fiches in-18. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1967)

RESAL (H.). — Traité de mécanique générale, comprenant les leçons professées à l'École polytechnique. 2ᵉ édition, entièrement refondue. T. Iᵉʳ : Cinématique; Théorèmes généraux de la mécanique; De l'équilibre et du mouvement des corps solides. In-8°, XIX-303 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 6ᶠ.50. (1968)

SACERDOTE (G.). — Le Livre de l'algèbre et le Problème des asymptotes de Simon Motot. In-8°, 54 p. Versailles, imp. Cerf et Cᵉ. (Extr. de la *Revue des études juives.*) (2447)

2° *Physique et Chimie.*

BEDELL (F.) et A.-C. CREHORE. — Étude analytique et graphique des courants alternatifs, à l'usage des ingénieurs et des élèves des écoles; par *F. Bedell* et *A.-C. Crehore*, professeurs à l'Université de Cornell. Traduit de la 2ᵉ édition anglaise par *J. Berthon*, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, 267 p. avec fig. Paris, G. Carré. (1571)

BENOIT (L.). — Étude métaphysique et physique des causes des phénomènes astronomiques. In-18 jésus, 18 p. Marseille, imp. Benoit. (3582)

BRANLY (E.). — Traité élémentaire d'électricité. In-8°, VIII-312 p. avec fig. Paris, Poussielgue. (2049)

CAMICHEL (C.). — Étude expérimentale sur l'absorption de la lumière par les cristaux (thèse). In-4°, 67 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1859)

Digitized by Google

Chevastelon (R.). — Contribution à l'étude des hydrates de carbone. Étude chimique et physiologique de ceux contenus dans l'ail, l'échalotte et l'oignon. In-8°, 84 p. et 3 pl. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (407)

Deuxième supplément au Dictionnaire de chimie pure et appliquée d'*Ad. Wurtz*, publié sous la direction de *Ch. Friedel*, professeur à la Faculté des sciences de Paris, avec la collaboration de MM. P. Adam, A. Béhal, G. de Bechi, A. Bigot, L. Bourgeois, L. Bouveault, E. Burcker, C. Chabrié, P.-T. Cleve, Ch. Cloëz, A. Combes, C. Combes, A. Étard, Ad. Fauconnier, H. Gall, A. Gautier, H. Gautier, E. Grimaux, G. Griner, etc. T. II. Fascicule 24. In-8° à 2 col., p 241 à 320. Paris, Hachette et C^{e}. 2 fr. (4619)

Étard (A.). — Recherches expérimentales sur les solutions saturées. In-8°, 92 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 2 fr. (Extrait des *Ann. de chimie et de physique.*) (1889)

—— Les Nouvelles théories chimiques. In-16, 196 p. Paris, G. Masson; Gauthier-Villars et fils. 2^{f},50. (3643)

Gautier (A.). — Cours de chimie minérale, organique et biologique. « Chimie minérale. » 2^{e} édition, revue et mise au courant des travaux les plus récents. In-8°, xix-668 p. avec 244 fig. Paris, G. Masson. (1647)

Goguel (H.). — Contribution à l'étude des arséniates et antimoniates cristallisés préparés par voie humide. In-8°, 75 p. avec fig. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (477)

Gouy. — Le Mouvement brownien et les Mouvements moléculaires. In-8°, 23 p. Lyon, imp. Storck. (4177)

Issaly. — Optique géométrique. Sixième mémoire : Genèse, Variété et Polarisation axiale des faisceaux de rayons lumineux ou calorifiques. In-8°, 50 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sc. phys. et nat. de Bordeaux.*) (731)

Mallet (H.). — Étude des combinaisons du calcium avec les acides oxygénés du phosphore. In-8°, 42 p. Montpellier, imp. Boehm. (1698)

Monod (E.-G.). — Stéréochimie. Exposé des théories de Le Bel et Van' T Hoff, complétées par les travaux de MM. Fischer, Baeger, Guye et Friedel. Avec une préface de M. *C. Friedel*. In-8°, 169 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 5 fr. (4459)

Neyreneuf. — Sur la réfraction du son. In-8°, 11 p. Caen, Delesques (Extr. des *Mém. de l'Acad. nat. des sc., arts et belles-lettres de Caen.*) (3058)

Pionchon. — L'Énergie électrique : sa mesure. In-8°, 20 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extr. des *Mém. de la Soc. des sc. phys. et nat. de Bordeaux.*) (1746)

—— Sur un produit d'oxydation incomplète de l'aluminium. In-8°, 7 p. Bordeaux, imp. Gounouilhou. (Extrait du même recueil.) (1747)

Roques (F.). — Sur un alcoolate de bromure de calcium. In-8°, 3 p. Paris, imp. Flammarion. (Extr. du *Journal de pharmacie et de chimie.*) (3308)

Thompson (S.-P.). — L'Électro-Aimant et l'Électro-Mécanique; par *Silvanus P. Thompson*, directeur du collège technique de Finsbury, à Londres. Ouvrage traduit et adapté de l'anglais par *E. Boistel*, électricien. In-18 jésus, xx-575 p. avec un portrait de l'auteur et 221 fig. Paris, Fritsch. 10 fr. (2919)

2° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Barret (E.). — Géologie du Limousin. In-8°, x-210 p. et planches (cartes et coupes). Limoges, Ducourtieux. 6 fr. (4322)

Filhol (H.). — Observations concernant la restauration d'un squelette d'Hippopotamus Lemerlei. In-8°, 4 p. avec fig. Paris, Imp. nationale. (Extr. du *Bull. du Muséum d'histoire naturelle.*) (4635)

Fouqué (F.). — Contribution à l'étude des feldspaths des roches volcaniques. In-8°, 336 p. Paris, Chaix. (Extr. du *Bull. de la Soc. franç. de minéralogie.*) (3419)

Fournier (A.). — Études géologiques des lignes de chemins de fer du Poitou. II : Ligne de Paris à la Rochelle (État), entre Breuil-Barret et Velluire (Vendée). In-8°, 55 p. La Roche-sur-Yon, imp. Servant. (Extr. de l'*Annuaire de la Soc. d'émulation de la Vendée.*) (704)

Gosselet (J.). — Cours élémentaire de géologie, à l'usage de l'enseignement secondaire. 16e édition. In-18 jésus, iv-212 p. av. 185 fig., carte géologique de la France et plusieurs coupes géologiques. Paris, Belin frères. (4647)

Jaccard (A.).— Le pétrole, l'asphalte et le bitume au point de vue géologique. In-8°, xii-292 p. av. 30 fig. Paris, F. Alcan. 6 fr. (4664)

Lacroix (A.). — Sur quelques minéraux des mines du Boléo (Basse-Californie). In-8°, 4 p. Paris, Imp. nat. (Extr. du *Bull. du Mus. d'hist. nat.*) (4210)

LONGRAIRE (L. DE). — Études sur les tremblements de terre. Séismes et volcans. In-8°, 94 p. Paris, Baudry et Cie. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingén. civils de France.*) (1695)

MEUNIER (S.). — Géologie régionale de la France. Cours professé au Muséum d'histoire naturelle. In-8°, xv-790 p. av. fig. Paris, Ve Dunod. 17f,50. (773)

—— Revision des lithosidérites de la collection du Muséum d'histoire naturelle de Paris. In-8°, 44 p. Autun, imp. Dejussieu père et fils. (2662)

MONTELIUS (O.). — Les temps préhistoriques en Suède et dans les autres pays scandinaves; par *Oscar Montelius*, conservateur du musée de Stockholm. Ouvrage traduit par *Salomon Reinach*, conservateur-adjoint des musées nationaux. In-8°, vi-354 p. av. une carte, 20 pl. contenant 120 fig., et 427 fig. dans le texte. Paris, Leroux. (2157)

POITEVIN. — Le Mont du Chat et le lac du Bourget. Excursion géologique. In-8°, 10 p. Chambéry, Imp. nouvelle. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. de la Savoie.*) (322)

POMEL (A.). — Paléontologie. Monographies. Bœufs, taureaux. In-4°, 108 p. et 19 pl. Alger, imp. Fontana et Cie. (Carte géologique de l'Algérie.) (323)

TORCAPEL (A.). — Les Garrigues de Nîmes, leur constitution géologique et le bassin d'alimentation de « la Fontaine ». In-8°, 36 p. et 2 pl. Nîmes, imp. Chastanier. (5448)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

BOVET (A. DE). — Traction mécanique des bateaux sur les canaux ; touage électro-magnétique. In-8°, 36 p. av. fig. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ing. civils de France.*) (3141)

DEBAINS (A.). — Instructions pratiques sur l'emploi des treuils à vapeur. In-8°, 11 p. Paris, 5, rue Gay-Lussac. (Extr. de la *Revue de viticulture.*) (2076)

DUBREUIL (V.). — Rapport de la commission des essais comparatifs sur le travail absorbé par les câbles et par les courroies dans la transmission du mouvement, rédigé et présenté à la Société industrielle du nord de la France par M. *V. Dubreuil*, ingénieur, président de la commission des essais. In-8°, 37 p. av. fig. Lille, imp. Danel. (2314)

DUDEBOUT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à

Digitized by Google

vapeur. In-16, 176 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f.50. (2087)

JIMELS (C.). — Note sur les machines à grande vitesse construites par MM. Schneider et Cie, au Creusot, et exposées à Chicago et à Lyon. In-8°, 8 p. av. grav. et pl. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du *Génie civil.*) (3235)

LÉAUTÉ (H.) et A. BÉRARD. — Transmissions par câbles métalliques. In-16, 184 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f,50. (4679)

LELOUTRE (G.). — Le fonctionnement des machines à vapeur. In-16, 224 p. Paris, Gauthier-Villars et fils; G. Masson. 2f.50. (3462)

RICHARD (G.). — Les moteurs à gaz et à pétrole en 1893 et 1894. In-8°, xx-318 p. av. fig. Paris, Ve Dunod et Vicq. (3507)

—— Traité des machines-outils. T. Ier : Tours, alésoirs, raboteuses, mortaiseuses, étaux limeurs, raineuses et perceuses. In-4° à 2 col., 551 p., plus XVII p. avec 3.022 fig. Paris, Baudry et Cie. (4495)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

ANNEY (J.-P). — La lumière électrique et les applications domestiques et industrielles de l'électricité. Résumé des renseignements utiles aux abonnés des usines centrales de distribution de l'énergie électrique. In-8°, III-99 p. av. fig. Paris, Ollendorff. (2018)

BAUCHER (F.). — Recherches chimiques et microbiologiques sur les altérations et la protection des métaux usuels en eau de mer. Piqûres des carènes et corrosions des tubes de chaudières. In-8°, 32 p. Paris, Baudoin. (Extr. de la *Revue maritime et coloniale.*) (3837)

BEGHIN (A.). — Formulaire de manipulations de chimie générale et de chimie industrielle (notation atomique), suivi d'un précis d'analyse qualitative et quantitative. In-8°, IX-408 p. Paris, Ve Dunod et Vicq. (2260)

BLEUNARD (A.). — Histoire générale de l'industrie. T. III : Industries du règne minéral. In-8°, 412 p. Paris, Laurens. 7f,50. (2728)

Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. Fremy, de l'Institut. T. X : Applications de chimie organique; le

Digitized by Google

papier; par *Paul Charpentier*, ingénieur chimiste expert, essayeur des monnaies de France. In-8°, 435 p. av. fig. Paris, Vᵉ Dunod et Vicq. 17f,50. (3408)

GUICHARD (P.). — Traité de distillerie. Chimie du distillateur; matières premières et produits de fabrication. In-18 jésus, VII-408 p. av. 75 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. 5 fr. (3016)

HALPHEN (G.). — L'industrie de la soude. (Les matières premières naturelles; le carbonate de soude; la soude à l'ammoniaque; le sulfate de soude; l'acide chlorhydrique; la soude par le procédé Leblanc, etc.). In-18 jésus, VI-368 p. Paris, J.-B. Baillière et fils. (3020)

HIPPERT (P.). — Fabrication de la soude. In-8°, 59 p. et 2 pl. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie. (4195)

—— L'iode et les produits secondaires extraits des gaz des hauts fourneaux. In-8°, 20 p. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie. (4196)

LANDAUER (J.). — Analyse au chalumeau. Manuel pratique; par *J. Landauer*, membre de l'Académie impériale allemande des naturalistes. Édition française par *J.-A. Montpellier*, chimiste de l'administration des postes et télégraphes. In-8°, 298 p. av. fig. Paris, G. Carré. (1926)

LECLERC (F.). — Résumé méthodique et pratique d'installations électriques. 1er volume (1re partie). 3e édition, revue et augmentée par l'auteur. In-18 jésus, 259 p. av. 95 fig. Paris, Royer; les principaux libraires et fabricants d'appareils électriques. 3f,50. (1935)

LEGRAS (E.). — Accumulateurs électriques de la Société électrogénique. In-8°, 22 p. av. fig. Tours, imp. Arrault et Cie. 1 fr. (5080)

LENOBLE (E.). — Correction dans la détermination du titre d'une liqueur tenant en suspension un précipité; application à la saccharimétrie. In-8°, 10 p. Lille, imp. Danel. (2374)

MICHAUT (L.) et M. GILLET. — Leçons élémentaires de télégraphie électrique (système Morse; manipulation; notions de physique et de chimie; piles; appareils et accessoires; installation des postes). 2e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, X-232 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1953)

PICARD (P.) et A. DAVID. — Aide-mémoire de poche de l'électricien. Guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc. Pet. in-16 oblong, 535 p. Paris, Baudry et Cie. (1250)

RICHE (A.). — Recherches sur les alliages de l'aluminium. In-8°,

Digitized by Google

7 p. Paris, imp. Marpon et Flammarion. (Extr. du *Journal de pharmacie et de chimie.*) (1261)

Rodary (F.). — Traité d'électricité (théorie et applications générales). In-8°, II-524 p. av. fig. Paris, Vᵉ Dunod et Vicq. (3512)

Vanderpol (A.).— Les applications du gaz à l'Exposition de Lyon, conférence faite aux anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures. In-8°, 14 p. av. grav. Lyon, imp. Rey. (4530)

Villon (A.-M.). — Dictionnaire de chimie industrielle, contenant les applications de la chimie à l'industrie, à la métallurgie, à l'agriculture, à la pharmacie, à la pyrotechnie et aux arts et métiers. T. I. 2 vol. In-4° à 2 col. av. fig. Fascicule 6, p. 393 à 472; fascicule 7, p. 473 à 552. Paris, Tignol. (1278)

—— T. I. Fascicules 8 à 10. In-4° à 2 col., p. 552 à 752. Paris, Tignol. (4535)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Boet. — Les phosphates algériens, lettre ouverte à M. Thomson, député du département de Constantine. In-8°, 32 p. Paris, imp. Boullay. (3586)

Chalon (P.-F.). — Aide-mémoire du mineur. In-16, XII-274 p. Paris, Baudry et Cⁱᵉ. (1114)

Domage. — Communication sur les travaux effectués pour le percement de la galerie de la mer. In-8°, 39 p. et 6 pl. Marseille, imp. Barthelet et Cⁱᵉ. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. indust. de Marseille.*) (443)

Gruner (E.). — Statistique des houillères françaises en 1893. In-8°, 36 p. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils de France.*) (5331)

Salvati (F.). — Vocabulaire des poudres et explosifs; par *Ferdinando Salvati*. Traduction par *E. Brion*, lieutenant de vaisseau. In-8°, 110 p. Paris, Baudoin et Cⁱᵉ. (Extr. de la *Revue maritime et coloniale.*) (3314)

Viala (F.). — Rapport sur les concessions métallifères de Genolhac et du Chassezac (Malons, Sainte-Marguerite-Lafigère et Thines). In-4°, 15 p. Montpellier, imp. Hamelin frères. (1540)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Bricogne (C.). — Masques respirateurs contre les poussières. Mise en pratique d'un bon type de masque au chemin de fer

Digitized by Google

du Nord. In-8°, 7 p. av. fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (4091)

Chalon (E.). — Notice sur les unions de trafic en Allemagne. In-8°, 20 p. Pont-Sainte-Maxence, Petit. (1347)

Deffoux (J.). — Chemin de fer de l'Est-Marseille. Traction par locomotives sans foyer, système Francq. In-8°, 21 p. et 3 pl. Marseille, imp. Barthelet et Cie. (Extr. du *Bull. de la Soc. scient. indust. de Marseille.*) (430)

Deharme (E.) et A. Pulin. — Chemins de fer : matériel roulant, résistance des trains, traction. In-8°, xxii-441 p. av. fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. (1876)

Deschamps (A.). — Recueil des instructions, ordres et dépêches de sécurité concernant le personnel des chemins de fer de l'Ouest; résumé. In-8°, 131 p. Morlaix, Le Goaziou. (4936)

Durand (L.). — La résistance des matériaux simplifiée. Calcul immédiat des fermes de charpente en fer et en bois. Nouvelle méthode. In-4°, 142 p. av. fig. Saint-Étienne, imp. Neyret. (694)

Durand-Claye (C.-L.). — Cours de routes, professé à l'École des ponts et chaussées. Dispositions d'une route; étude et rédaction des projets; construction; entretien. 2e édition, revue et corrigée. In-8°, 610 p. av. fig. Paris, Baudry et Cie. (1139)

Exposition internationale de Chicago en 1893. Rapports publiés sous la direction de M. Camille Krantz, commissaire général du gouvernement français. Comité 36 : Génie civil; travaux publics; architecture. Rapports de MM. *Jacques Hermant* et *Paul Debray*, commissaires-rapporteurs. Gr. in-8°, 195 p. Paris, Imp. nationale (Ministère du commerce). (936)

Federman (D.). — Sur la détermination expérimentale de la tension des tirants dans les voûtes, d'après l'ingénieur G.-G. Ferria, de Turin. In-8°, 7 p. av. fig. Paris, imp. Chaix, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils de France.*) (1892)

Lerosey. — Solution graphique du problème des charges roulantes au moyen de calques. In-8°, 15 p. av. fig. et 1 pl. Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie. (Extr. de la *Revue du génie militaire.*) (4218)

Mallet (A.). — Les chemins de fer à voie étroite du canton de Genève. In-8°, 16 p. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. des *Mém. de la Soc. des ingénieurs civils de France.*) (1453)

Monet (E.). — Nouveau procédé de calcul des efforts supportés par les éléments d'une poutre droite à treillis chargée symé-

Digitized by Google

triquement et reposant sur deux appuis. In-8°, 20 p. av. fig. Paris, 10, cité Rougemont. (Extr. du même recueil.) (3985)

Note sur le siphon de Clichy-Asnières sous la Seine, construit par M. *J. Berlier*, ingénieur civil. In-8°, 16 p. Paris, Baudry et Cie. (Extr. des *Nouvelles Annales de la construction.*) (3059)

Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1893; par M. *Grille*, ingénieur civil des mines, et M. *H. Falconnet*, ingénieur des arts et manufactures. Neuvième partie : les chemins de fer à l'Exposition de Chicago. 2e volume : voies, signaux, matériel roulant et tramways; par M. *Grille*. In-8°, 192 p. av. pl. et album in-4° de 144 pl. Paris, Bernard et Cie. (5386)

Rousseau (P.). — Essais directs de la dureté des matériaux. Un nouvel appareil sclérométrique. In-8°, 12 p. av. fig. Paris, Chaix. (3309)

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1893. Documents principaux. In-4°, vi-453 p. et cartes en coul. Paris, Imp. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics.) (1784)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Assurance et garantie contre les accidents du travail dans les mines. Travaux de la commission nommée par le Comité (février-mars 1895). In-4°, 71 p. Paris, Chaix. (3121)

Bellom (M.). — Les lois d'assurance ouvrière à l'étranger. II : Assurance contre les accidents (première partie). In-8°, xi-685 p. Paris, A. Rousseau. 12 fr. (3581)

Block (M.). — Les assurances ouvrières en Allemagne, rapport à l'Académie des sciences morales et politiques sur les résultats d'une mission en Allemagne. In-8°, 135 p. Paris, Guillaumin et Cie. (Extr. du *Compte rendu de l'Acad. des sciences morales et politiques.*) (3585)

Brice (H.). — Les institutions patronales, leur état actuel, leur avenir. In-8°, vi-344 p. Paris, A. Rousseau. 7f,50. (393)

Brouchot (P.). — Des accidents du travail dans l'air comprimé et de l'influence du risque professionnel sur la responsabilité des patrons. In-8°, 48 p. Reims, imp. de l'*Indépendant rémois*. (1330)

Codes miniers, recueil des lois relatives à l'industrie des mines dans les divers pays, publiés sous les auspices du Comité cen-

Digitized by Google

tral des houillères de France. Belgique; par *Pierre Plichon*, avocat à la cour d'appel. In-8°, 224 p. Paris, Baudry et C^ie^. (1118)

—— Russie. Traduction publiée sous la direction du département des mines du ministère de l'agriculture et des domaines. In-8°, 400 p. Paris, Baudry et C^ie^. (4122)

Compagnies (Les) de chemins de fer. Préjudice causé par leurs conditions d'application des tarifs. In-16, 22 p. Bordeaux, impr. Escaich. 20 cent. (415)

Coumes (L.). — Étude sur la situation en France des invalides du travail avant l'âge de la retraite. In-8°, 16 p. Paris, A. Rousseau. (909)

Jay (R.). — L'Assurance ouvrière et la Caisse nationale des retraites pour la vieillesse. In-8°, 28 p. Paris, 110, rue de l'Université. (Extr. de la *Revue politique et parlementaire*.) (4203)

Loi portant rectification de la loi du 29 juin 1894 sur les caisses de secours et de retraites des ouvriers mineurs, promulguée le 19 décembre 1894. Exposé des motifs du projet de loi; Rapport de M. *Audiffred* à la Chambre; Rapport de M. *Cuvinot* au Sénat; Circulaire du ministre des travaux publics. In-8°, 20 p. Paris, Chaix. (753)

Résumé de la législation générale des chemins de fer russes. In-8°, 32 p. Paris, Impr. nationale. (Extr. du *Bull. du ministère des travaux publics*.) (1014)

Veron Duverger. — Le Régime des chemins de fer et les Conventions de 1883. In-8°, 16 p. Paris, Guillaumin et C^ie^. (Extr. de *l'Économiste français*.) (4295)

9° *Objets divers.*

Aubian (F.). — Nouvelle méthode pour le tracé des courbes, à l'usage de MM. les ingénieurs, conducteurs, agents voyers, contrôleurs des mines, gardes du génie et de l'artillerie, architectes, constructeurs, entrepreneurs, etc. Petit in-18, 75 p. Carcassonne, impr. Polère. (2501)

Berrubé (E.). — Plano-Aérostat, ou le Véritable Ballon dirigeable (Projet déposé en 1887 au ministère de la guerre). In-8°, 32 p. avec fig. Paris, impr. Kugelmann. 1 fr. (631)

Chemin de fer transsaharien. Documents relatifs à la mission dirigée au sud de l'Algérie par M. A. Choisy, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Texte (3^e^ volume) : Hydrologie, Statistique, Météorologie, rapports par M. *G. Rolland*, ingé-

nieur au corps des mines; Anthropologie, Zoologie, Observations sur les conditions sanitaires, rapports par M. le docteur *H. Weisgerber;* Liste des plantes recueillies par M. *P. Jourdan*, garde-mines principal, déterminées par M. le docteur *J. Bonnet*, attaché au Muséum. In-4°, 508 p. Paris, Impr. nationale. (2536)

Dyrion (L.). — Sources et Goules du néocomien; Mécanisme de la fontaine de Vaucluse et Moyen d'en régulariser le débit; Applications. In-8°, 85 p. et 17 pl. Paris, Impr. nationale. (Extr. du *Bull. de la direction de l'hydraulique agricole.*) (450)

Exposition internationale de Chicago en 1893. L'Invention aux États-Unis; par M. *F. V. Maquaire*, vice-président de l'Association des inventeurs et artistes industriels. In-8°, 39 p. Paris, Impr. nationale. (Extr. du Rapport des délégués ouvriers. Ministère du commerce.) (3196)

Faugère (de). — La Science universelle. Anatomie et Physiologie de la Terre. Électricité, Magnétisme, Magnétisme humain. In-8°, 57 p. avec planches. Brioude, impr. Watel. (4976)

Goulier (C.-M.). — Nivellements de haute précision. Étude sur les corrections nécessitées par les variations de la gravité. In-4° vii-63 p. avec fig. Paris, Impr. nationale. (2614)

Grandeau (L.). — Importance du nitrate de soude en agriculture; Quantités à donner aux terres pour les diverses récoltes (céréales, plantes sarclées, cultures industrielles, vignes, etc.); Époque et Mode d'emploi du nitrate; Résultats. In-8°, 14 p. Paris, impr. Pariset. (4180)

Laharpe (C. de). — Notes et Formules de l'ingénieur, du constructeur-mécanicien, du métallurgiste et de l'électricien. 10e édition, revue, corrigée et augmentée par *L.-A. Barré*, *Ch. Vigreux*, *R.-P. Bouquet*, ingénieurs des arts et manufactures, et *L. Campredon*, chimiste-métallurgiste. In-16, xv-1.004 p. avec 725 fig. Paris, Bernard et Cie. (5342)

Mamy (H.). — Note sur le recueil-poussières de M. Jouanny. In-8°, 12 p. avec fig. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil.*) (2657)

Mancin (A.). — La Navigation aérienne. Petit in-8°, 144 p. avec grav. Tours, Mame et fils. (99)

Mary (J.). — Aménagement des eaux pour l'assainissement et l'alimentation des villes. Renseignements pratiques et Observations sur les travaux de canalisation forcée pour la distribution des eaux. In-8°, 29 p. Paris, impr. P. Dupont. (1946)

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en

France et en Algérie pour l'année 1893, avec un appendice concernant la statistique minérale internationale. In-4°, xix-238 p. avec tableaux et diagrammes en coul. Paris, Vve Dunod; Baudry et Cie. 10 fr. (Ministère des travaux publics.) (1783)

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Barlow (C.-W.-C.) and Brian (G.-H.). — Geometry of the Similar Figures and the Plane. In-12, 122 p. Clive. 3f,15.

Glazebrook (R.-T.). — Mechanics : An Elementary Text-Book, Theoretical and Practical, for Colleges and Schools. Dynamics. Illust. In-8°, ix-256 p. Cambridge Warehouse. 5 fr.

—— —— Statics. Illust. In-8°, vii-182 p. Cambridge Warehouse, 3f,75.

Gray (Andr.) and G.-B. Mathews. — A Treatise on Bessel Functions and their Application to Physics. Londres. In-8°, 286 p. 21 fr.

Lamb (H.). — Hydrodynamics. In-8°, 610 p. Cambridge Warehouse. 25 fr.

Rossiter (W.). — Algebra. New ed, In-8°, 220 p. Allman. 1f,90.

Todhunter (L.) and Hogg (R.-W.). — Key to Plane Trigonometry. In-8°, 476 p. Macmillan. 13f,15.

2° *Physique et Chimie.*

Bidie (G.). — Laboratory Analysis of Water, Milk and Bread. In-8°, 30 p. Hirschfeld. 2f,50.

Clowes (F.). — A Treatise on Practical Chemistry and Qualitative Analysis. 6th ed. In-8°, 484 p. Churchill. 10f,65.

Graham (T.). — Researches on the Arseniates, Phosphates and Modifications of Phosphoric Acid. In-8°, 44 p. Edimbourg, Clay; Simpkin. 1f,90.

Magee (W.-H.). — Indexes to the Literatures of Cerium and Lanthanum. In-8°. Wesley and Son. 3f,15.

Preston (T.). The Theory of Light. 2nd ed. In-8°, 578 p. Macmillan. 18f,75.

Rey (J.). — Essays of Jean Fry, Doctor of Medicine, on an Inquiry into the Cause wherefore Tin and Lead Increase in Weight on Calcination (1630). In-12, 54 p. Edimbourg, Clay; Simpkin. 1f,90.

Scarf (I.-S.). — Organic Chemistry, Theoretical and Practical. Adapted to the Requirements of the Science and Art Department and of the London University. With 36 Illusts. and 180 Experiments. In-8°, viii-240 p. W. Collins, Sons and Co. 2f,50.

Stewart (R.-W.). — An Elementary Text Book of Heat. In-12, 168 p. Clive. 2f,50.

Whiteley (R.-L.). — Organic Chemistry: The Fatty Compounds. In-8°, 292 p. Longmans. 4f,40.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Challenger. — Report on the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. *Challenger* during the Years 1872-76, under the Command of Captain Sir George S. Nares, and the late Captain Frank Tourle Thomson. Prepared under the Superintendence of the late Sir *C. Wyville Thomson*, Regius Professor of Natural History in the University of Edinburgh, Director of the Civilian Scientific Staff on Board, and now of *John Murray*, one of the Naturalists of the Expedition. A Summary of the Scientific Results. Parts 1 and 2. With Appendices. 100 fr.

Cooke (A.-H.), Shipley (A.-E.) and Reed (F.-R.-C.). — Molluscs, Brachiopods (Recent), Brachiopods (Fossil). In-8°, 540 p. Macmillan. 21f,25.

Dana (J.-D.). — Manual of Geology. Illust. 4th. ed. In-8°. Paul, Trübner and Co. 35 fr.

Hull (E.). — Contributions to the Physical History of the British Isles. Illust. Reissue. In-8°. Stanford. 7f,50.

Kayser (E.). — Text-Book of Comparative Geology. Trans. and Edit. by *Philip Lake*. 2nd ed. In-8°, 420 p. Swan Sonnenschein. 13f,15.

Kirkpatrick (T.-S.-G.). — Simple Rules for the Discrimination of Gems. In-12, 20 p. Spons. 2f,50.

Maskelyne (N.-S.). — Cristallography: A Treatise on the Morphology of Cristals. In-8°, 522 p. Clarendon Press. 15f,65.

Prestwich (J.). — On Certain Phenomena belonging to the Close

Digitized by Google

of the Last Geological Period, and in their Bearing upon the Tradition of the Flood. In-8°, 66 p. Macmillan. 3f,15.

PRESTWICH (J.). — Collected Papers on Some Controverted Questions of Geology. In-8°, 268 p. Macmillan. 12f,50.

TAYLOR (L.). — Precious Stones and Gems. With their Reputed Virtues, Curious, Interesting and Valuable Notes. In-12, 68 p. Roxburghe Press. 0f,65.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

ADAMS (H.). — Machine Construction and Drawing. (Subject I). Elementary. In-8°, 130 p. Chapman and Hall. 3f,15.

—— —— (Subject II.) Advanced. In-8°, 70 p. Chapman and Hall. 3f,15.

BODMER (G.-L.). — Hydraulic Motors : Turbines and Pressure Engines. For the Use of Engineers, Manufacturers, and Students. 2nd ed. Revised and Enlarged. With 201 Illusts. In-8°, XII-551 p. Whittaker and Co. 17f,50.

BOLTON (R.). — Motive Powers and their Practical Selection. In-8°, 268 p. Longmans. 8f,15.

BOX (T.). — Practical Hydraulics. 11th ed. In-8°, 86 p. Spons. 6f,25.

FLETCHER (W.). — The Steam Jacket. Practically Considered as an Efficient Fuel Economiser : A Treatise on the Economical Use of Steam for Engine Builders, Engine Drivers, Mill Managers and Steam Users Generally. With 63 Illusts. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 192 p. Whittaker. 9f,40.

LEASK (A.-R.). — Refrigerating Machinery : Its Principles and Management. With 64 Illusts. In-8°, 260 p. Tower Publishing Co. 6f,25.

—— Triple and Quadruple Expansion Engines and Boilers. With 59 Illusts. 2nd ed. In-8°, 260 p. Tower Publishing Co. 6f,25.

SUTCLIFFE (G.-W.). — Steam Power and Mill Work : Principles and Modern Practice. In-8°, XV-886 p. Whittaker. 26f,25.

YEO (J.). — Steam and the Marine Steam Engine. In-8°, 198 p. Macmillan. 9f,40.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

ARNOLD (J.-O.). — Steel Works Analysis. In-8°, 250 p. Whittaker. 13f,15.

BENNETT (A.-R.). — The Telephone Systems of the Continent of Europe. With 169 Illusts. In-8°, 448 p. Longmans. 18f,75.

BERINGER (C. and J.-J.). — A Text-Book of Assaying for the Use of those Connected with Mines. 3rd ed., Revised. In-8°, 400 p. C. Griffin and Co. 13f,15.

EISSLER (M.). — The Cyanide Process for the Extraction of Gold, and its Practical Application on the Witwatersrand Gold Fields in South Africa. In-8°, 100 p. Crosby Lockwood and Son. 9f,40.

GROVES (C.-E.). — Chemical Technology; With which is Incorporated Richardson and Watts' "Chemical Technuology." Vol. 2: Lighting, by *W.-J. Dent*; Stearine Industry, by *J. McArthur*: Candle Manufacture, by *L.* and *F.-A. Field*; Petroleum Industry and Lamps, by *Boverton Redwood*; Miners' Safety Lamps, by *B. Redwood and D.-A. Louis*. In-8°, 410 p. Churchill. 25 fr.

KNIGHT (J.-H.). — Electric Light for Country Houses: A Practical Handbook on the Erection and Running of Small Installations. With Particulars of the Necessary Cost of Plant and Working. With Illusts. In-8°, 75 p. Crosby Lockwood and Son. 1f,25.

POOLE (J.). — The Practical Telephone Handbook and Guide to the Telephonic Exchange. With 288 Illusts. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-12, 356 p. Whittaker. 6f,25.

PREECE (W.-H.) and SIVEWRIGHT (J.). — Telegraphy. 11th ed., Revised. In-12, 420 p. Longmans. 7f,50.

SEXTON (A.-H.). — An Elementary Text-Book of Metallurgy. With numerous Illusts. In-8°, 274 p. C. Griffin and Co. 7f,50.

SOUTHAM (A.-D.). — Electrical Engineering as a Profession. How to Enter it, and Guide to the Engineering Profession. With 33 Plates. Official ed. In-8°, 180 p. Southam. 4f,40.

URQUHART (J.-W.). — Dynamo Construction: A Practical Handbook for the Use of Engineers, Constructors and Electricians in Charge. 2nd ed., Revised and Enlarged. In-8°, 376 p. Crosby Lockwood and Son. 9f,40.

WALKER (F.). — Practical Dynamo Building for Amateurs: How to Wind for any Outout. With numerous Illusts. In-8°, 68 p. Iliffe. 2f,50.

WALKER (S.-F.). — Electricity in our Homes and Workshops. 3rd ed., Revised. In-8°, 344 p. Whittaker. 7f,50.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

ANDERSON (J.-W.). — The Prospector's Handbook: A Guide for the Prospector and Traveller in Search of Metalbearing or

other Valuable Minerals. 6th ed , thoroughly Revised and much Enlarged. In-12, 188 p. Crosby Lockwood and Son. 4f,40.

Parliamentary. — Coal Mines Regulation Act, 1887. Return of Prosecutions, 1890-94. 1f,90.

—— —— Merionethshire Slate Mines. Report of Home Office Committee. With Appendices. 3f,15.

—— —— Summaries of Statistics for 1894. 0f,65.

—— —— Albion Colliery, South Wales. Explosion 23rd June, 1894. Reports by H.M. Inspectors of Mines. Large Plans. 3f,05.

—— —— Inspectors' Reports for 1894. Maps and Plans. 13 Parts. 9f,40.

—— —— N° 1. East Scotland District. 1f,05.

—— —— N° 2. West Scotland District. 0f,35.

—— —— N° 3. Newcastle District. 0f,95.

—— —— N° 4. Durham District. 6f,65.

—— —— N° 5. Yorkshire and Lincolnshire District. 0f,45.

—— —— N° 6. Manchester and Ireland District. 0f,85.

—— —— N° 7. Liverpool District. 0f,65.

—— —— N° 8. Midland District. 1f,15.

—— —— N° 9. North Wales and Isle of Man District. 0f,35.

—— —— N° 10. North Staffordshire District. 0f,95.

—— —— N. 11. South Staffordshire District. 0f,65.

—— —— N° 12. South Western District. 0f,95.

—— —— N° 13. South Wales District. 0f,65.

—— Explosives. Inspectors' Reports for 1894. 19th Annual. 1f,90.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Bidder (W.-H.). — Stress Diagrams in Open or Lattice Girder Work in Steel and Iron, Continuous Girders, Suspension Bridges and Rigid Arches. In-8°, 64 p. Gale and Polden. 15f,65.

George (E.-M.). — Pocket-Book of Calculations on Stresses, etc., for Engineers, Architects and General Use. Oblong, 140 p. Spons. 4f,40.

Parliamentary. — Railways. Workmen's Trains on the Metropolitan Lines. Statements made to the Board of Trade. 0f,65.

—— Railway Accidents. Returns and Inspectors' Reports for 1894. 3f,65.

Redgrave (G.-R.). — Calcareous Cements : Their Nature and Uses, with some Observations on Cement Testing. With Diagrams. In-8°, 244 p. C. Griffin and Co. 10f,65.

Spons' Architects' and Builders' Price-Book, with Useful Memoranda and Tables, by *W. Young*, for 1895. 22nd ed. In-8°, xx-394 p. Spons. 4f,40.

8° *Objets divers.*

Boyd (R.-N.). — Petroleum : Its Development and Uses. In-8°, viii-85 p. Whittaker. 2f,50.

Fletcher (B.). — Quantities : A Text Book for Surveyors. 6th ed., thoroughly Revised, to which is added an Example of the Complete Taking off, Abstracting and Billing in all Trades of an Entrance Lodge, of which the Plans, Elevations and Sections are Given. With 16 Plates and numerous Illusts. in the Text. In-8°, 446 p. Batsford. 9f,40.

—— —— Light and Air : A Text-Book for Architects and Surveyors. 3rd ed., Revised, with Additional Cases, etc. With 26 Diagrams. In-8°, 150 p. Batsford. 8f,15.

Jamieson (G.). — The Silver Question. Injury to British Trade and Manufactures. In-8°. E. Wilson. 0f,65.

Kempe (H.-R.). — The Engineer's Year-Book of Formulæ, Rules, Tables, Data and Memoranda in Civil, Mechanical, Electrical, Marine and Mine Engineering, 1895. With 750 Illusts. Specially Engraved for the Work. In-8°, xx-628 p. Crosby Lockwood and Son. 10 fr.

Pfeilschmidt (C.-A.-P.). — The Wire and Sheet Gauges of the World. In-16, 46 p. L.-U. Gill. 1f,25.

Proceedings of the International Conference on Aerial Navigation, held in Chicago, August, 1893. In-8°, 433 p. Low. 15f,65.

Spons' Engineers' and Contractors' Illustrated Book of Prices of Machines, Tools, Iron Work and Contractor's Material, 1895-1896. In-4°. Spons. 5f,65.

Trautwine (J.-C.). — Civil Engineer's Pocket Book. Copiously Illust. 16th ed. In-12. Spons. 26f,25.

Digitized by Google

OUVRAGES AMÉRICAINS.

Atkinson (P.). — Elements of Static Electricity. With Full Description of the Holtz and Topler Machines and their Mode of Operating. 2nd ed., Fully Revised. and New Matter added. Illust. In-8°, vi-228 p. New-York, Johnston Co. 8f,15.

Heysinger (J.-W.). — Source and Mode of Solar Energy. In-12, 363 p. av. fig. Philadelphie. 13f,50.

Hinrichs (G.-D.). — Elements of Atom-Mechanics. Vol. 1. In-8°, xiii-255 p. New-York. 22f,50.

Holmes (W.-H.). — An Ancient Quarry in Indian Territory. Illust. In-8°, 19 p. Washington, Government Printing Office.

Houston (E.-J.). — Electricity One Hundred Years Ago and Today. With Copious Notes and Extracts. Illust. In-8°, vi-199 p. New-York, Johnston Co. 5f,65.

Kapp (G.). — Alternating Currents of Electricity ; Their Generation, Measurement, Distribution, and Application. With an Introduction by *William Stanley*, jun. Illust. In-8°, 166 p. New-York, Johnston Co. 5f,65.

Mayer (W.-J.) and Davis (M.-M.). — The Quadruplex. With Chapters on the Dynamo-Electric Machine in Relation to the Quadruplex, the Practical Working of the Quadruplex, Telegraph Repeaters and the Wheatstone Automatic Telegraph. Illust. In-8°, 128 p. New-York, Johnston Co. 8f,15.

Smith (A.-W.). — Elementary Machine Design. In-8°, 175 p. Palo Alto (Cal.), Stanford University Press. 10f,65.

Tesla (N.). — Experiments with Alternate Currents of High Potential and High Frequency : A Lecture Delivered before the Institution of Electrical Engineers, London. With a Portrait and Biographical Sketch of the Author. Illust. In-8°, ix-146 p. New-York, Johnston Co. 5f,65.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Eberhard (V.). — Die Grundgebilde der ebenen Geometrie. I. Bd. Leipzig. B.-G. Teubner In-8°, xlviii-302 p., 5 pl. 17f,50. (1350)

Jaumann (J.). — Inconstanz des Funkenpotentials. (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften*). Vienne, F. Tempsky. In-8°, 30 p. av. 7 fig. 1f,15. (1734)

Lie (S.). — Untersuchungen über unendliche continuirliche Gruppen. (Extr. des *Abhandl. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften*). Leipzig, S. Hirzel. In-8°, 108 p. 6f,25. (528)

Muth (P.). — Grundlagen für die geometrische Anwendung der Invariantentheorie. Mit einem Begleitworte von *M. Pasch*. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, vi-131 p. 3f,75. (535)

Schlesinger (L.). — Handbuch der Theorie der linearen Differentialgleichungen. I. Bd. Leipzig, B.-G. Teubner. In-8°, xx-486 p. 20 fr. (Paraîtra en 2 volumes). (544)

Weber (H.). — Lehrbuch der Algebra. I. Bd. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, xv-653 p. av. 28 fig. 20 fr. (Paraîtra en 2 volumes). (549)

2° *Physique et Chimie.*

Bauer (L.-A.). — Beiträge zur Kenntniss des Wesens der Säcular-Variation des Erdmagnetismus. Berlin, Mayer und Müller. In-8°, 54 p. av. 2 fig. et 2 pl. 3f,75. (510)

Beyrich (K.). — Das System der Uebergewalt oder das analitisch-synthetische Princip der Natur. Berlin, R. Oppenheim. In-8°, xi-164 p. av. 7 fig. 4f,50. (929)

Biese (A.-C.). — Ein neuer Typus optischer Instrumente. Berlin, Fussinger. In-8°, 29 p. av. 14 fig. 2f,50. (511)

Bischoff (C.-A.). — Handbuch der Stereochemie. Unter Mitwirkung von P. Walden herausgegeben. II. Bd. Francfort-s.-M., H. Bechhold. In-8°, xvi p. et p. 449-1060, av. 250 fig. dans le texte et portraits de L. Pasteur, Le Bel et J. van't Hoff. 25 fr. (512)

Digitized by Google

Exler (K.). — Grundzüge der Elektrotechnik. Vienne, Spielhagen und Schurich. In-8°, vii-350 p. av. 503 fig. 12f,50. (1986)

Handbuch der chemischen Technologie. Bearbeitet und herausgegeben von *P. A. Bolley* und *K. Birnbaum*, fortgesetzt von *C. Engler*. V. Bd. 6. Lfg. (53. Lfg.). Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°, v p. et p. 1179-1428. 8 fr. (1190)

Handbuch der Physik, unter Mitwirkung von F. Auerbach, F. Braun, E. Brodhun u. A. herausgegeben von *A. Winkelmann*. III. Bd. 23. u. 24. Lfg. Breslau, E. Trewendt. In-8°, av. fig. Chaque livraison 4f,50. (136)

Handwörterbuch der Chemie, herausgegeben von *A. Ladenburg*. 77. Lfg. Brunswick, Vieweg. In-8°, p. 865-944. 3 fr. (137)

Lorentz (H.-A.). — Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. Leyde, E.-J. Brill. In-8°, iii-139 p. 3f,15. (529)

Mazelle (E.). — Beziehungen zwischen den mittleren und wahrscheinlichsten Werthen der Lufttemperatur. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften*). Vienne, F. Tempsky. In-4°, 38 p. 3,75. (1743)

Meyer (V.) und P. Jacobson. — Lehrbuch der organischen Chemie. I. u. II. Bd. 1. Abth. Leipzig, Veit und C°. In-8°, xii-1128 p. av. fig. 41f,50. (146)

Ostwald (W.). — Elektrochemie. Ihre Geschichte und Lehre. 5. Lfg. Leipzig, Veit und C°. In-8°, p. 321-400, av. fig. 2f,50. (147)

—— —— 6. u. 7. Lfg. Leipzig, Veit und C°. In-8°, p. 401-560, av. fig. 2f,50 la livraison. (1376)

Saubert (B.). — Der Erdmagnetismus nach seiner Ursache, sowie nach seiner Bedeutung für die Wetterprognose erläutert. Hanovre, Helwing. In-8°, 44 p. av. 1 fig. et 3 pl. 2 fr. (543)

Tesla's (N.) Untersuchungen über Mehrphasenströme und über Wechselströme hoher Spannung und Frequenz. Halle, W. Knapp. In-8°, x-508 p. av. portrait et 313 fig. 18f,75. (1998)

Unverhau (W.). — Ein Beitrag zur forensischen Chemie einiger stickstofffreier Pflanzenstoffe. Jurjew, E.-J. Karow. In-8°, 94 p. 2f,25. (1755)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Barrande (J.). — Système silurien du centre de la Bohême. 1re partie: Recherches paléontologiques. Continuation éditée par le Musée Bohême. Vol. VIII. Tome I. Prague. Leipzig, R. Gerhard. In-4°, ix-230 p. av. 21 pl. 31f,25. (118)

Berwerth (F.). — Ueber vulcanische Bomben von den canarischen Inseln, nebst Betrachtungen über deren Entstehung. (Extr. des *Annalen d. k. k. naturhist. Hofmuseums*). Vienne, A. Hölder. In-8°, 16 p. av. 2 fig. et 2 pl. 3f,75. (928)

Boehm (G.). — Beiträge zur Kenntniss der Kreide in den Südalpen. I. Die Schiosi- und Calloneghe-Fauna. (Extr. des *Palæontographica.*) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, III-68 p. av. 37 fig. et 8 pl. 25 fr. (933)

Celakovsky (L.-J.). — Rozpravy a Darwinově theorii a o vyvoji vostlinstva. Prague, Dr. F. Backovsky. In-8°, 244 p. 6f,90. (516)

Dubois (E.). — Pithecanthropus erectus. Eine menschenähnliche Uebergangsform aus Java. Batavia. La Haye, M. Nijhoff. In-4°, III-39 p. av. 3 fig. et 2 pl. color. 8f,15. (129)

Eastman (C.-A.). — Beiträge zur Kenntniss der Gattung Oxirhina. (Extr. des *Palæontographica.*) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 43 p. av. 3 pl. 12f,50. (940)

v. Ettingshausen (C.). — Beiträge zur Kenntniss der Kreideflora Australiens. (Extr. des *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissenschaften.*) Vienne, F. Tempsky. In-4°, 56 p. av. 4 pl. 5f,40 (1354)

Giebe (P.). — Uebersicht der Mineralien des Fichtelgebirgs und der angrenzenden fränkischen Gebiete. (Extr. des *Geognostische Jahreshefte.*) Cassel, Th. Fischer. In-8°, III-56 p. 6f,25. (520)

Kuntze (O.). — Geogenetische Beiträge. Leipzig, A. Felix. In-8°, 78 p. 3f,75. (1736)

Martini und Chemnitz. — Systematisches Conchilien-Cabinet. In Verbindung mit Philippi, L. Pfeiffer, Duncker etc. neu herausgegeben und vervollständigt von *H.-C. Küster*, nach dessen Tode fortgesetzt von *W. Kobelt*. 408.—410. Lfg. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4° av. pl. color. Chaque livraison 11f,25. (145)

—— —— 411. Lfg. Nüremberg, Bauer und Raspe. In-4° av. pl. color. 11f,25. (1373)

—— —— I. Bd. 10. Abth. Nürenberg, Bauer und Raspe. In-4°, 132 p., 35 pl. 70 fr. (1742)

Oppenheim (P.). — Ueber die Nummuliten des venetianischen Tertiärs. Berlin, R. Friedländer und Sohn. In-8°, 29 p. av. 1 pl. 3f,75. (536)

Plieninger (F.). — Campylognathus Zitteli. Ein neuer Flugsaurier aus dem oberen Lias Schwabens. (Extr. des *Palæontographica.*) Stuttgart, E. Schweizerbart. In-4°, 31 p. av. 8 fig. et 1 pl. 7f,50. (964)

Digitized b

Weinschenk (E.). — Beiträge zur Petrographie der östlichen Centralalpen, speziell des Gross-Venedigerstockes. I u. II. (Extr. des *Abhandl. d. k bayrischen Akad. d. Wissenschaften.*) Munich, G. Franz. In-4°, p. 1—63, av. 4 pl.; p. 65—96, av. 1 pl. 5f,25. (548)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

v. Hoyer (E.). — Kurzes Handbuch der Maschinenkunde. 2.—7. Lfg. Munich, Th. Ackermann. In-8°, p. 385—672, av. fig. Chaque livraison, 3 fr. (1988)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

v. Georgievics (G.). — Lehrbuch der chemischen Technologie der Gespinstfasern. I. Thl. Lehrbuch der Farbenchemie. Vienne, F. Deuticke. In-8°, x-288 p. 8f,75. (1580)

Jüptner v. Jonstorff (H.). — Fortschritte im Eisenhütten-Laboratorium in den letzten 10 Jahren. I. Bd. Leipzig, A. Felix. In-8°, v-270 p. av. 99 fig. 10f,65. (1990)

6° *Construction. — Chemins de fer.*

Lauenstein (R.) und A. Hanser. — Die Eisenkonstruktionen des einfachen Hochbaues. Zum Gebrauch für Schule und Praxis bearbeitet. 1. Tl.: Material und Konstruktionselemente. Stuttgart, J.-G. Cotta Nachf. In-8°, vi-92 p., av. 173 fig. 3 fr. (1991)

Marggraff (H.). — Die königl. bayerischen Staatseisenbahnen in geschichtlicher und statistischer Beziehung. Munich, R. Oldenbourg. In-8°, 178 p. av. fig., cartes et plans. 6f,25. (91

Rank (E.). — Das Eisenbahntarifwesen in seiner Beziehung zu Volkswirtschaft und Verwaltung. Mit einem Vorworte von *E. Sax.* Vienne, A. Hölder. In-8°, xviii-779 p. 22f,50. (903)

Schwabe (H.). — Geschichtlicher Rückblick auf die ersten 50 Jahre des preussischen Eisenbahnwesens. Berlin, Siemenroth und Worms. In-8°, vii-111 p. 2f,50. (1324)

7° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Adler (G.). — Die Versicherung der Arbeiter gegen Arbeitslosigkeit im Kanton Basel-Stadt. Gutachten, erstattet dem Depar-

Digitized by Google

tement des Innern des Kantons Basel-Stadt. Bâle, Dr. H. Müller. In-8°, 72 p. 2 fr. (869)

Rosenberg (G.-J.). — Zur Arbeiterschutzgesetzgebung in Russland. Leipzig, Duncker und Humblot. In-8°, VIII-156 p. 3f,75. (906)

8° Objets divers.

Beck (L.). — Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. II Abtlg. Vom Mittelalter bis zur neuesten Zeit. I. Tl. Das 16. und 17. Jahrh. 6. Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°. 6f,25. (369)

—— —— 7. Lfg. Brunswick, F. Vieweg und Sohn. In-8°. 6f,25. (1576)

Gängl von Ehrenwerth (J.). — Das Berg-und Hüttenwesen auf der Weltausstellung in Chicago, nebst Mittheilungen über montanistische Verhältnisse in den Vereinigten Staaten mit besonderer Berücksichtigung des Eisenhüttenwesens. Officieller Bericht der k. k. Œsterr. Central-Commission für die Weltausstellung in Chicago 1893, Heft VII. Vienne, Verlag der Central-Commission. In-8°, VIII-396 p., 11 pl.

Kotsauer (W.). — Die Luftschiffahrt und ihre Zukunft. Vienne, Spielhagen und Schurich. In-8°, 40 p. avec 16 fig. 2f,50. (1735)

Manfai (E.). — Das gelöste Problem der Aeronautik. Vergleichende Kritik der bis heute zur Lösung der æronautischen Aufgabe in Vorschlag gebrachten Projecte, resp. Principien. Vienne, Spielhagen und Schurich. In-8°, III-52 p. avec 6 fig. 2f,50. (1741)

Tapla (T.). — Geodätische Constructionen und Berechnungen. Vienne, F. Deuticke. In-8°, v-87 p., 14 pl. 3f,75. (968)

OUVRAGES RUSSES.

Goloff (D.). — Petits moteurs pour l'industrie et l'agriculture (en russe). Saint-Pétersbourg. In-8°, 245 p. 10 fr.

Lidoff (A.). — Manuel pour l'examen chimique des graisses et des cires (en russe). Charkow. In-8°, 377 p. avec 38 fig. dans le texte. 15 fr.

Schukoff (N.). — L'électrométallurgie (en russe). Moscou. In-8°, 397 p. 15 fr.

OUVRAGES DANOIS ET SUÉDOIS.

Brogger (W.-C.). — Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes. I. Christiania. In-8°, 4-206 p. 13f,15.

Christensen (S.-A.). — Matematikens Udvikling i Danmark og Norge i det XVIII. Aarhundrede. Odense. In-8°, 270 p. 8f,50. (936)

Jochnick (W.). — Det vigtigaste af teoretiska mekaniken. Stockholm. In-8°, 152 p. 9f,40.

Petersen (J.). — Forelæsninger over Funktionsteori. 1. Heft. Copenhague. In-8°, 112 p. 5f,65.

Posselt (H.-J.). — Brachiopoderne i den danske Kridtformation. Copenhague. In-8°, 60 p. 2f,50.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécaniques pures.*

Aschieri (F.). — Geometria projettiva dello spazio. Vol. II. Seconda edizione corretta ed ampliata del Manuale di geometria projettiva. Milan, U. Hœpli. In-16, VI-264 p. avec fig. (1469)

BARBERA (L.). — Teorica delle equazioni differenziali duple, preceduta da un discorso preliminare sul giudizio fattone dai calcolatori lincei, e sopra una recensione del prof. H.-A. Schwarz. Bologne, tip. G. Cenerelli. In-8°, 180 p. 4 fr. (1055)

CESARO (E.). — Introduzione alla teoria matematica della elasticità. Turin, fr. Bocca. In-8°, 213 p. avec fig. 6 fr. (1865)

GIAZZI (F.). — Intorno alla dimostrazione generale del principio delle velocità virtuali : nota didascalica. Pérouse, tip. Boncompagni. In-8°, 8 p. (2640)

MATTINA (C.). — Studio sulla pseudosfera. Palerme, tip. Settimana Commerciale. In-8°, 51 p. avec fig. et 1 pl. (1477)

PEANO (G.). — Formulaire de mathématique. T. I. Turin. In-8°, 144 p. 9 fr.

—— Notations de logique mathématique. Turin. In-8°, 52 p. 2f,50.

PINCHERLE (S.). — L'algebra delle forme lineari alle differenze. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 42 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell' istituto di Bologna.*) (2643)

RE (A. del). — Lezioni di geometria proiettiva ed analitica. Vol. I, fasc. 1. Modène, tip. G.-T. Vincenzi e nipoti. In-8°, p. 1-160. (1871)

RUFFINI (F.-P.). — Delle pedali delle parabole cubiche divergenti. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 14 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell' istituto di Bologna.*) (1873)

VEGETTI (E.). — Degli angoli e dei triangoli simili nella prospettiva e degli orizzonti razionali : ricerca di interferenze dirette. Milan, tip. pont. s. Giuseppe. In-8°, 36 p. avec 2 pl. (3558)

2° *Physique et Chimie.*

CAVAZZI (A.). — Sull' impiego dell' allume ferrico nella separazione dello iodio dal cloro e dal bromo. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 12 p. avec fig. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell' istituto di Bologna.*) (1864)

CIURLO (L.-R.). — Sull' Agaricina (Laboratorio di chimica farmaceutica e tossicologia della r. università di Genova). Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 4 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (3101)

COOKE (T.). — Assestamento ed esame degli obbiettivi telescopici. Traduzione italiana del dott. *L. Palazzo.* Rome, tip.

Digitized by Google

G. Bertero. In-4°, 47 p. avec fig. (Extr. des *Mem. d. soc. degli spettroscopisti italiani.*) (1867)

Gatti (A.). — Brevi considerazioni su alcune leggi di dinamica e di elettrostatica. Ferrare, tip. P. Eligio. In-4°, 39 p. (2272)

Giovenale (G.). — Le lamine metalliche ondulate elastiche applicate alla dimostrazione sperimentale del teorema di Pascal sulla idrostatica. Rome, tip. Forzani e C. In-8°, 12 p. (1475)

—— Sopra un apparato per la dimostrazione sperimentale della composizione dell' aria. Rome, tip. Forzani e C. In-8°, 4. p. (3103)

Marino-Zuco (F.). — Sulla crisantemina. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 8 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (3550)

Marino-Zuco (F.) e G. Vignolo. — Sopra gli alcaloidi della *Cannabis indica* e della *Cannabis sativa*. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 15 p. (Extr. du même recueil.) (3551)

Niccoletti (O.). — Sopra un caso speciale del problema di Plateau. Pise, tip. Nistri e C. In-8°, iiij-77 p. (Extr. des *Annali della r. scuola normale superiore di Pisa.*) (268)

Righi (A.). — Sulle onde elettromagnetiche generale da due piccole oscillazioni elettriche ortogonali oppure per mezzo di una rotazione uniforme. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 16 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell' istituto di Bologna.*) (271)

Vignolo (G.) e Ruggero (T.). — Sopra l'azione della bromacetilbenzina sul timolo. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 4 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (3957)

Vitali (D.). — Dell' azione dell' aqua ossigeneta sulla soluzione ammoniacale dei composti rameici e di un metodo semplicissimo di preparazione dell' ossigeno. Florence, tip. dei Minorenni corrigendi. In-8°, 7 p. (Extr. de l'*Orosi.*) (2647)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Bellardi (L.). — I molluschi dei terreni terziari del Piemonte e della Liguria. Parte XVI (Cancellariidae), a cura del dott. *Federico Sacco*. Turin, C. Clausen. In-4°, 80 p. av. 3 pl. (649)

Bombicci (L.). — Mineralogia descrittiva. Milan, U. Hoepli. In-16, v-376 p. av. fig. (1471)

Bruno (J.). — Il lago d' Orta e la morena di Omegna : nota sopra due escursioni fatte al lago. Novare, tip. Rizzotti e Merati. In-16°, 25 p. (2635)

Digitized by Google

Faciola (O.). — Istituzioni sintetiche di un sistema universale di autosismografi differenziali atti ad indicare contemporaneamente i fenomeni sismici in diversi punti della terra, ad uso de' sismologi, ingegneri elettricisti, inventori, ecc. Messine, F. D' Angelo. In-8°, 20 p. 1 fr. (1868)

Faraone (F.). — L' unità di misura delle forme poliedriche o cristalline : poliedrografia sperimentale. Naples, tip. E. De Cesare. In-8°, 33 p. av. 3 pl. 2 fr. (2271)

Fornasini (C.). — Contributo alla conoscenza della microfauna terziaria italiana : foraminiferi delle marne messinesi che fanno parte della collezione O. G. Costa, esistente nel museo geologico della r. università di Napoli : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 20 p. av. 2 pl. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze dell' istituto di Bologna.*) (1058)

Gaffuri (C.). — I precursori dell' uomo. Milan, tip. S. Ghezzi. In-8°, 49 p. (Extr. de la revue *La Scuola cattolica e la scienza italiana.*) (3102)

Gorrieri (D.). — Sopra una arenaria molassa ofiolitica proveniente dalle cave di Montovolo, appennino bolognese. Bologne, tip. Zamorani e Albertazzi. In-8°, 10 p. (265)

Matteucci (R.-V.). — Alcune escursioni geologiche nei granducati di Baden e Hessen et nei regni di Baviera e Württemberg. Pavie, tip. fr. Fusi. In-8°, 52 p. av. fig. (Extr. du *Giornale di mineralogia, cristallografia e petrografia.*) (2275)

Meli (R.). — Breve relazione delle escursioni geologiche eseguite alle paludi Pontine, a Terracina ed al Circeo con gli allievi ingegneri della r. scuola d' applicazione di Roma nell' anno scolastico 1893-1894. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-24, 16 p. (Extr. de l'*Annuario della r. scuola d' applicazione per gl' ingegneri di Roma.*) (1870)

—— Paragone fra gli strati sabbiosi a *Cyprina aequalis* Bronn del monte Mario nei dintorni di Roma et quelli di Ficarazzi presso Palermo, racchiudenti la medesima specie : communicazione. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 7 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. geol. italiana.*) (2276)

—— Sopra alcuni resti fossili di mammiferi rinvenuti alla Cava della Catena presso Terracina : communicazione alla società geologica italiana tenutasi in Massa Marittima il giorno 19 settembre 1894. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 10 p. (Extr. du même recueil.) (2277)

—— Sopra due esemplari di *Neptunea sinistrorsa* Desh. (*Fusus*) pascati sulla costa d'Algeri : communicazione preliminare fatta

alla società geologica italiana nell' adunanza generale tenutasi in Massa Marittima il giorno 19 settembre 1894. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 5 p. (Extr. du même recueil.) (2278)

Negri (G. B.). — Communicazioni del laboratorio di mineralogia dell' università di Genova. Padoue, tip. Cooperativa. In-8°, 26 p. av. fig. (Extr. de la *Rivista di mineralogia e cristallografia italiana.*) (3947)

Ristori (G.). — Cheloniani fossili di Montebamboli e Casteani : memoria paleontologica, con appendice sui Cheloniani fossili del Casino (Siena). Florence, tip. G Garnesecchi et figli. In-8°, 104 p. (3951)

Rivista italiana di paleontologia. Redattori *C. Fornasini* e *V. Simonelli.* Anno I, n° 1. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 48 p. 1 fr. le fascicule. (3113)

Sacco (F.). — I coccodrilli del monte Bolca. Turin, C. Clausen edit. In-4°, 13 p. (Extr. des *Mem. d. r. accad. delle scienze di Torino.*) (1479)

Sestini (F.). — Ricerche su le grafiti italiane. Pise, tip. T. Nistri et C. In-8°, 3 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di sc. naturali.*) (3108)

Trabucco (G.).— *Nummulites* ed *Orbitolites* nell' arenaria macigno del bacino eocenico di Firenze. Pise, tip. Nistri. In-8°, 3 p. (Extr. du même recueil.) (1066)

—— Sulla vera età del calcare di Gassino. Rome, tip. d. r. accad. dei Lincei. In-8°, 22 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. geografica italiana.*) (1067)

—— Se si debba sostituire il termine di Burdigaliano a quello di Langhiano nella serie miocenica. Pise, tip. T. Nistri e C. In-8°, 9 p. (Extr. des *Proc. verb. d. soc. toscana di scienze naturali.*) (3111)

Traverso (S.). — Geologia dell' Ossola. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 275 p. av. 12 pl. (1068)

—— Rocce di Sipora (Isole Mentavei). Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche.*) (2646)

Volante (A.). — La luce nel terremoto : lezione sperimentale e rassicurante dettata dalla natura stessa. Turin, tip. Roux Frassati e C. In-8°, 17 p. 2 fr. (1480)

Digitized by Google

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Amadei (L.). — Uso e manutenzione delle caldaie a vapore : norme pratiche per gli utenti delle caldaie a vapore fisse e locomobili. Bologne, Treves di P. Virano. In-8°, 16 p. (3616)

Giorli (E.). — Il meccanico : nozioni speciali di aritmetica, geometria, meccanica, generatori del vapore, macchine a vapore, collaudazione e costo dei materiali, doratura, argentatura e nichelatura. Milan, U. Hoepli. In-16, xj-234 p. (3228)

—— Disegno industriale : corso regolare di disegno geometrico e delle proiezioni; degli sviluppi delle superficie dei solidi; della costruzione dei principali organi delle macchine; macchine utensili. Milan, U. Hoepli. In-16, v-218 p. av. fig. (3229)

Rossi (L.-V.). — Caldaje e macchine a vapore. Padoue. In-8°, 400 p. av. atlas de 24 pl. 18 fr.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie.*

Candiani (E.). — L'industria chimica all' esposizione di Chicago. Milan, U. Hoepli. In 8°, 121 p. 3 fr. (3632)

Carlinfanti (E.). — La reazione del Baudouin per la ricerca dell' olio di sesamo nell' olio di olivo : nota (Ministero dell' interno : laboratorio chimico della direzione di sanità pubblica). Rome, tip. delle Mantellate. In-8°, 4 p. (Extr. de la *Rivista d'igiene e sanità pubblica*.) (2636)

Migone (E.). — Sopra un nuovo metodo volumetrico per la determinazione quantitativa del cobalto. Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di sc. naturali e geografiche*). (3552)

Rivoira (G.-T.) — Appunti di elettrotecnica (Sedute dell' associazione brittannica in Oxford). Rome, tip. Ad. ved. Pateras. In-8°, 26 p. (272)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Marro (C.). — Cenni sull' industria marmifera nell' alta valle del Tanaro. Turin, Unione tipografico-editrice torinese. In-4°, 16 p. (1173)

Miniere di calamina della English Crown Spelter Company Limited : regolamento per gli operai. Bergame, tip. fr. Bolis. In-16, 13 p. (3230)

Digitized by Google

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Canevazzi (S.). — Meccanica applicata alle costruzioni : lavoro ad uso degli ingegneri, degli architetti, dei periti in costruzione e degli studenti delle regie scuole d' applicazione per gli ingegneri e dei corsi tecnici pei periti in costruzione. Testo e tavole. Parte II, disp. 2. Turin, A.-F. Negro. In-8°, p. 145-392 av. 12 pl. 8 fr. (3594)

Costruttore (Il) : trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente, ad uso dell'ingegnere civile ed industriale, dell'architetto, dell'agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Opera illustrata da oltre 4000 incisioni. Disp. 121-130. Milan, F. Vallardi. In-4°, av. fig., p. 721-915 ; p. 1-88, av. 6 pl. (1130-1917-3596)

Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie : norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Disp. 102-107. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4°, av. fig. p. 161-176, av. 6 pl. ; p. 233-264, av. 5 pl. ; p. 177-208, av. 5 pl. ; p. 113-152, av. 4 pl. ; p. 1-23, av. 11 pl. 2 fr. la livraison. (306-1131-2324-3173-3998)

Kölbel (V.). — Articoli su argomenti ferroviari, pubblicati nella rivista tecnica economica illustrata *L'Industria* negli anni 1892-1893 e 1894. Milan, tip. degli Operai. In-8°, 52 p. av. fig. (4000)

Kossuth (L. de). — Note sur le réchauffage des cylindres des locomotives par la circulation des gaz chauds. Naples, tip. Giannini. In-4°, 15 p., av. 2 pl. (2680)

Marco (C.). — La locomotiva : cenni storici e descrizione. Turin, Roux Frassati e C. In-16, xi-151 p. av. fig. 2 fr. (4001)

Mazzocchi (L.). — Calci e cementi : norme pratiche ad uso degli ingegneri, architetti, costruttori, capimastri ed assistenti di fabbrica. Milan, U. Hoepli. In-16, xij-212 p. av. fig. (4002)

Muzzani (I.). — Galleria del Borgallo : triangolazione e tracciati. Turin, Camilla e Bertolero. In-8°, 41 p. av. 1 pl. (Extr. de la revue *L'Ingegneria civile e le arti industriali*). (2681)

Pattacini (E.). — Vantaggi economici che le amministrazioni ferroviarie possono ottenere ristampando le attuali loro tariffe secondo il sistema proposto da Egidio Pattacini. Florence, tip. S. Landi. In-8°, 19 p. (2682)

Digitized by Google

Ragazzoni (A.). — Le nuove officine delle strade ferrate (Rete mediterranea) in Torino. Turin, Camilla e Bertolero. In-8°, 115 p. av. 15 pl. (Extr. de la revue *L'Ingegneria civile e le arti industriali*). (2684)

7° Législation. — Économie politique et sociale.

Bosellini (A.). — La responsabilità civile e industriale negli infortuni di lavoro. Parte II. Modène, tip. A. Moneti. In-8°, 111 p. 4 fr. (2585)

Capobianco (F.). — Gl' infortuni sul lavoro. Naples, tip. G. Pisanzio. In-16. 0f,50. (Extr. de la revue *Il Denaro*). (3870)

Congresso sugli infortuni del lavoro in rapporto all' igiene, al lavoro del donne e dei fanciulli ed all' istruzione obbligatoria: relazioni e proposte (Camera del lavoro di Milano). Milan, tip. degli Operai. In-8°, 36 p. (2216)

Regolamento per l'esecuzione della legge sulla polizia delle miniere, cave e torbiere, 14 gennaio 1894, n° 19. Naples, E. Pietrocola. In-16, 16 p. 0f,25. (3232)

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SEPTIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages

Sur la géologie du Congo français; par M. *Maurice Barrat*. 379

EXPLOITATION DES MINES. — GITES MINÉRAUX.

Étude sur l'industrie des phosphates et superphosphates (Tunisie. — Floride. — Scories basiques); par M. *David Levat*. 5

— (*Suite et fin*). 135

Note sur la réparation d'un éboulement survenu dans le puits n° 3 des mines de Liévin; par M. *Desailly*. 304

Note sur un affaissement survenu le 5 mai 1894 dans les travaux de la couche des Littes [Concession des mines de houille de Montrambert (Loire)]; par M. *Coste*. 309

Note sur les appareils de fermeture de recettes employés dans les mines du Pas-de-Calais; par MM. *Fèvre* et *Weiss*. 515

Note sur un gisement de pyrite arsenicale aurifère dans le département de Maine-et-Loire; par M. *P. L. Burthe*. 528

Note sur la question des poussières en Angleterre; par M. *L. Aguillon*. 535

Les sources thermales de Néris (Allier) et d'Évaux (Creuse); par M. *L. de Launay*. 563

Digitized by Google

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

Pages

Sur l'oxydation du cobalt et du nickel en liqueur alcaline. application au dosage volumétrique de ces métaux; par M. *Ad. Carnot*. 624

Sur l'oxydation du cobalt et du nickel en liqueur ammoniacale. Application au dosage pondéral de ces métaux; par M. *Ad. Carnot*. 631

MÉCANIQUE. — MACHINES.

Étude sur l'écoulement de la vapeur dans les tuyaux; par M. *Auscher*. 325

OBJETS DIVERS.

Notice nécrologique sur Ernest Mallard, membre de l'Institut, inspecteur général des mines; par M. *A. de Lapparent*. 267

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers, en 1893 et 1894. 315

BULLETIN.

Statistique de l'industrie minérale de la Belgique en 1893. 129

Les richesses minérales de la Colombie. 261

Les Écoles des mines de la colonie de Victoria (Australie); par M. *Babu*. 363

La mine Robinson (Transwaal) 372

Statistique de l'industrie minérale de la Suède. 511

Statistique de l'industrie minérale et métallurgique de la Prusse en 1893. 514

État présent de l'industrie des mines de fer dans l'Ariège. 560

Digitized by Google

Législation étrangère.

Pages

Autriche. Loi du 31 décembre 1893 sur les directeurs et les surveillants de l'exploitation des mines. 641

Prusse. Ordonnance du 28 mai 1894 sur l'emploi des ouvriers des mines. 642

Allemagne. Ordonnance du 1[er] février 1895 sur le travail des enfants dans les mines. 643

BIBLIOGRAPHIE.

Premier semestre de 1895.

Ouvrages français. 645

Ouvrages anglais. 657

Ouvrages américains. 663

Ouvrages allemands. 664

Ouvrages russes. 668

Ouvrages danois et suédois. 669

Ouvrages italiens 669

ERRATUM

AU TOME SIXIÈME

Page 461, lignes 3 à 8, *rectifier comme suit* la formule et les valeurs de e et de l :

$$e = \frac{pd}{2000}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{a}{p}\,\frac{1}{1 + \frac{d}{l}}}\right)$$

e est l'épaisseur en *centimètres;*

. . . .

. . . .

l la longueur de la virole en *centimètres;*

Digitized by Google

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME SEPTIÈME.

Pl. I à V. — Étude sur l'industrie des phosphates et superphosphates.

Pl. VI et VII. — Réparation d'un éboulement survenu dans le puits n° 3 des mines de Liévin.

Pl. VIII à XI — Étude sur l'écoulement de la vapeur dans les tuyaux.

Pl. XII à XIV. — Géologie du Congo français.

Pl. XV à XVII. — Appareils de fermeture de recettes employés dans les mines du Pas-de-Calais.

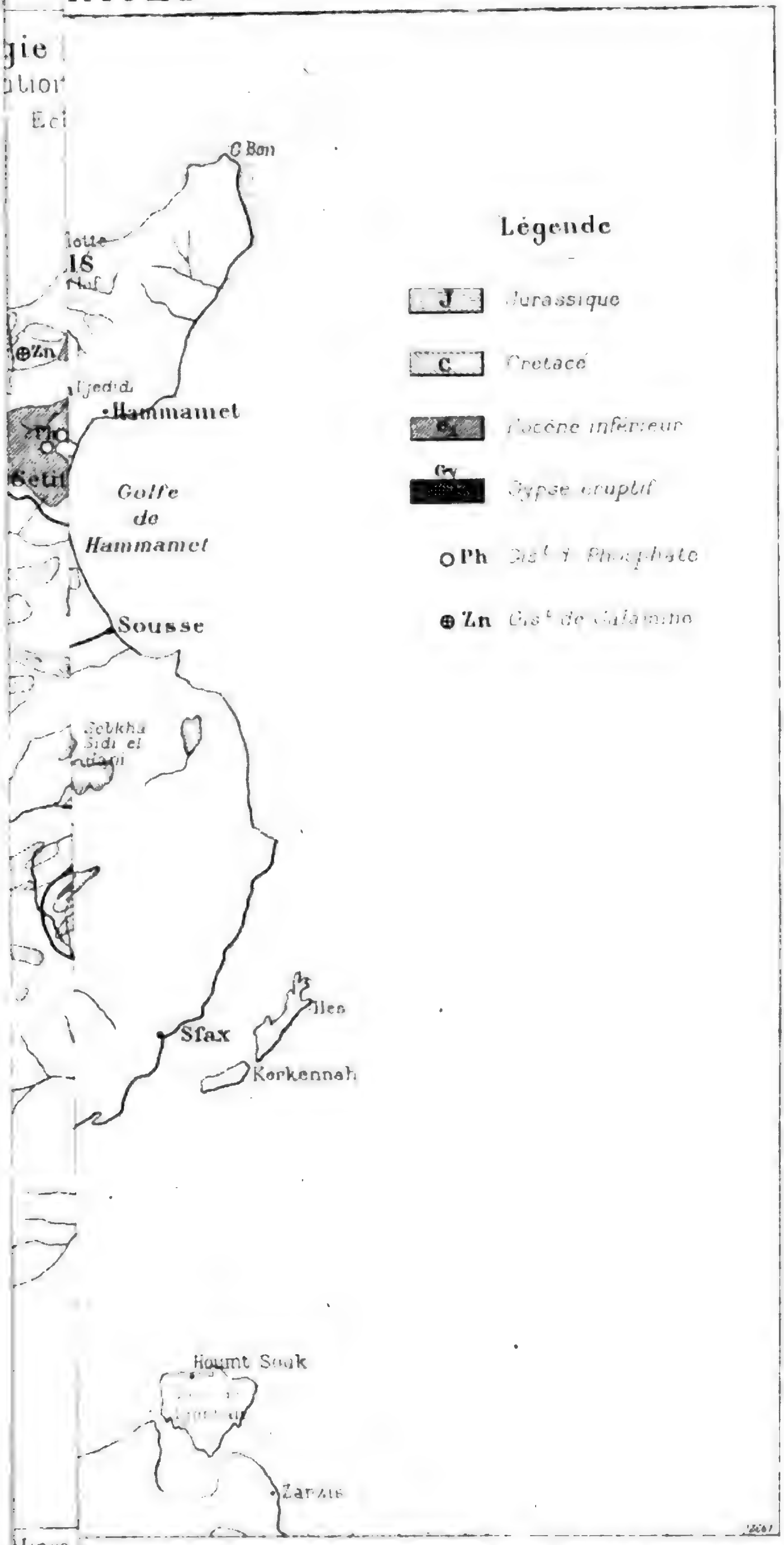
Pl. XVIII à XXIII. — Sources thermales de Néris (Allier) et d'Évaux (Creuse).

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

Digitize

IATES **Pl.I.**

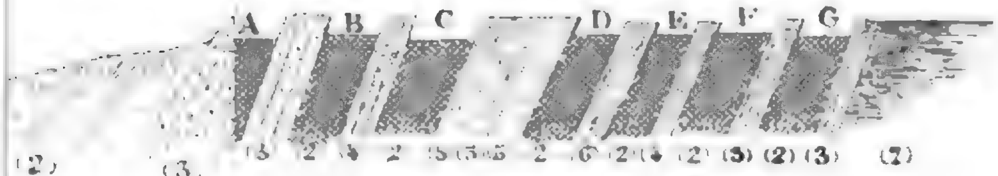
gie
ution



Mines,

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 4.



Legende de la Fig. 4

...ables miocènes
...tratifiés
...oquiller
...uller
...hatée

(5) *Argiles avec petits bancs de phosphate*

(6) *Argile phosphatée*

(7) *Marnes argileuses*

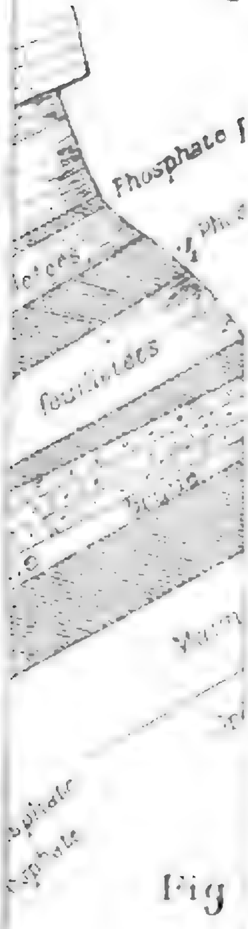
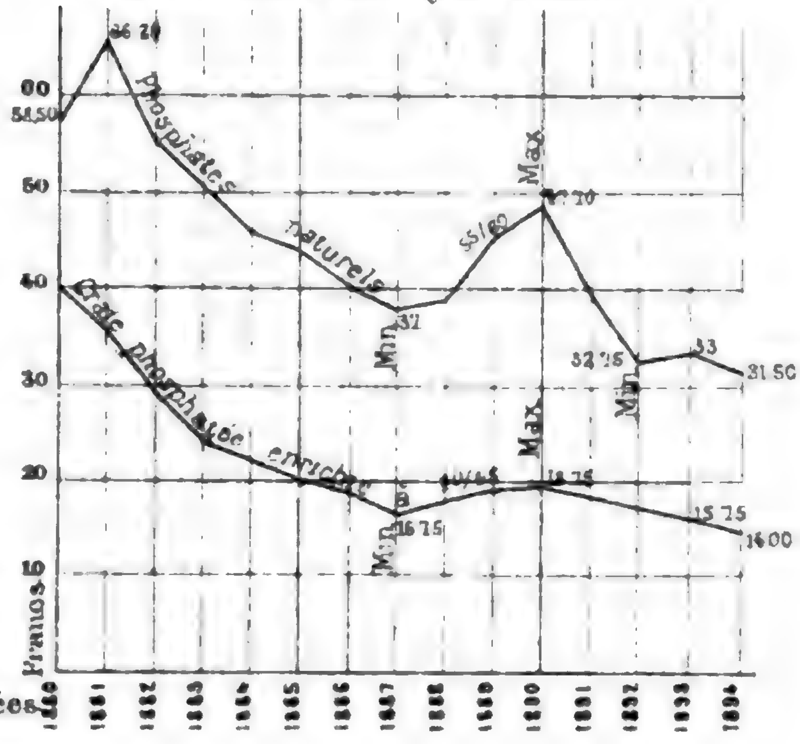


Fig. 11.

Variations du prix des phosphates de 1880 à 1894.

Prix des 1000 K. sur wagon à l'usine

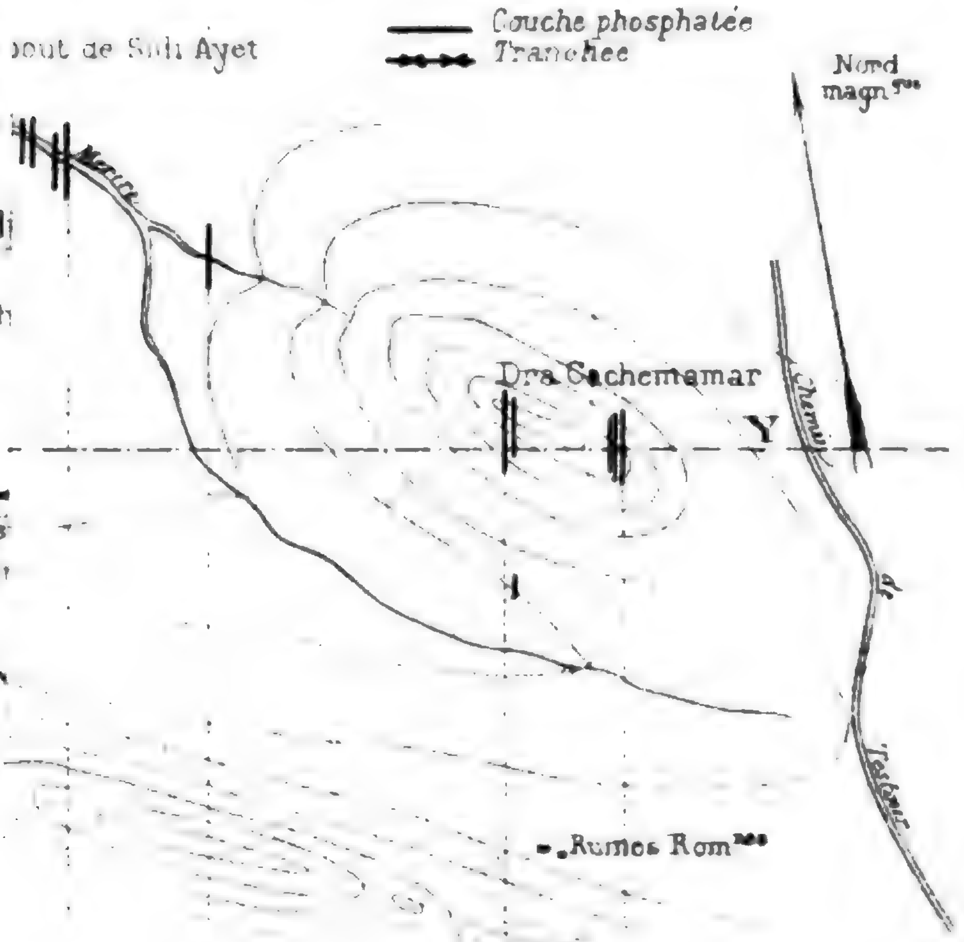


...neres et Candas

N.

Auto-imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

des travaux de recherches



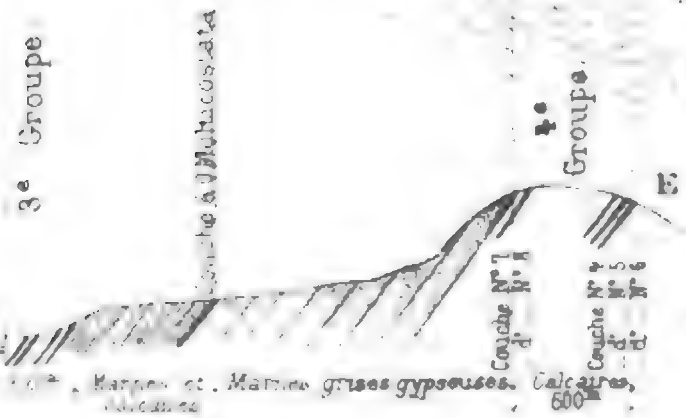
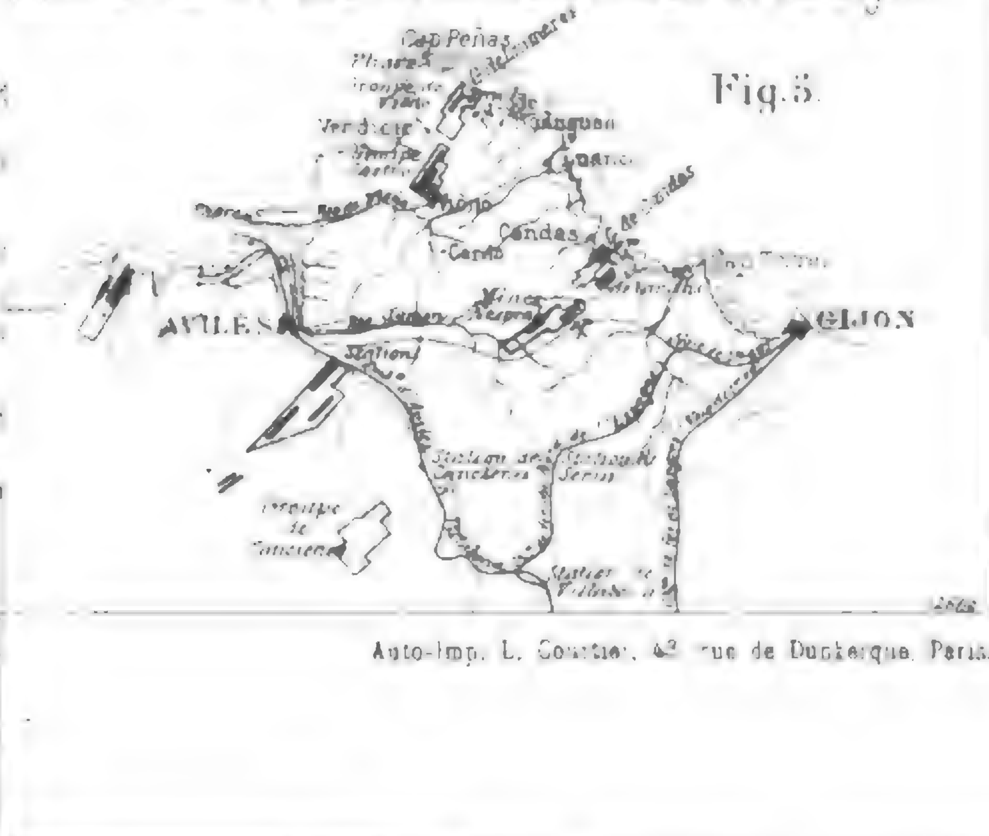


Fig. 3.
Coupe E.O
du Gisement
de Sidi Ayet
(Région Sud de Testour)

minerai de fer des environs d'Aviles et de Gijon

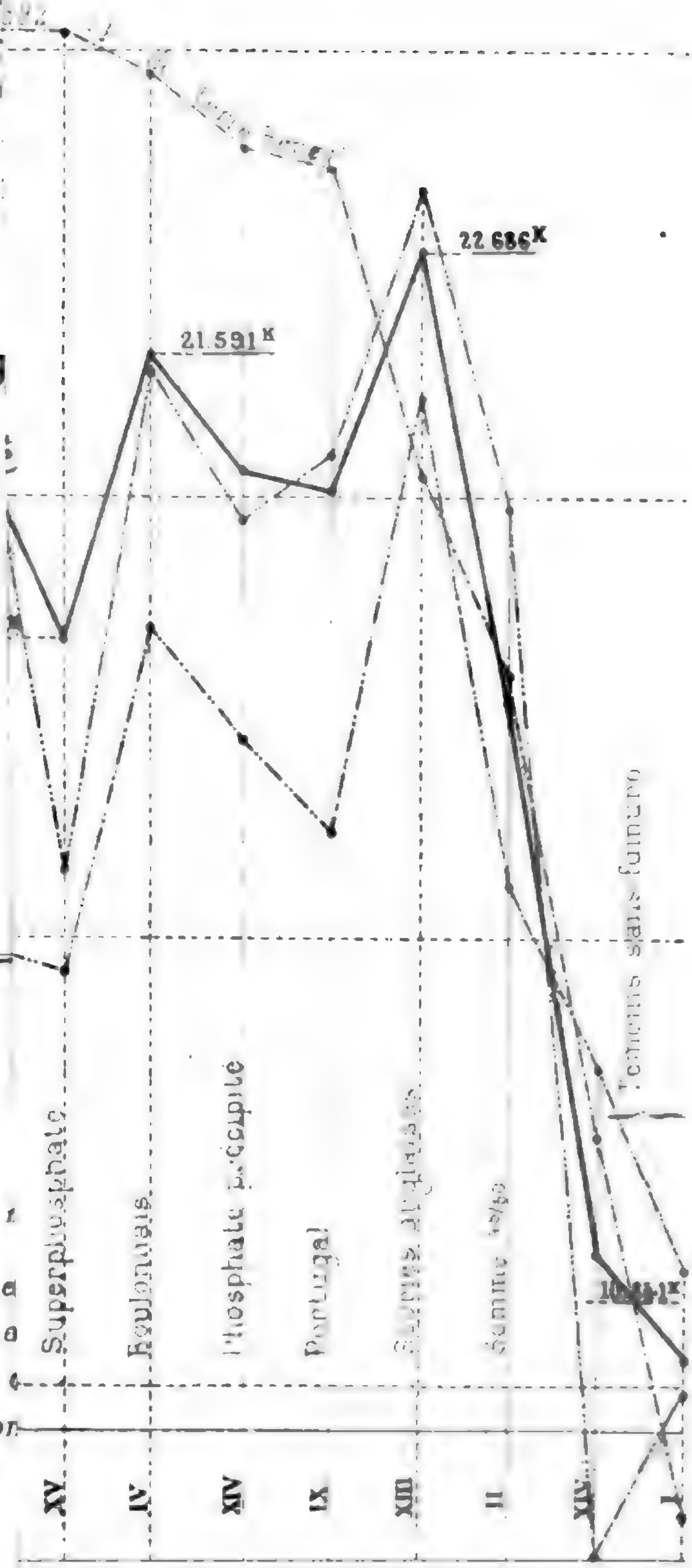
Fig. 5.



Auto-Imp. L. Courtier, 43 rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 2.

Résultats des Cultures
du Parc des Princes
1892 1893



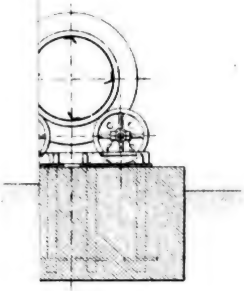
géolog
de la
RIDE

ocène.
Miocène.
ocène.
osphate
osphate
Phosphate
Exploitation

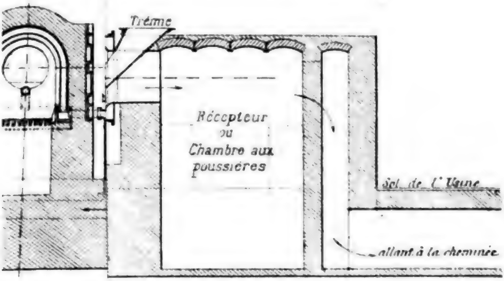
es, 9e Sér

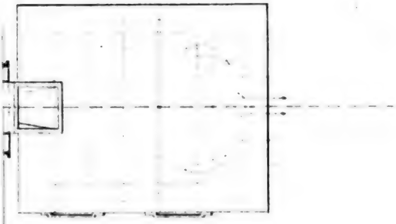
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

ɔupe suivant IJ



Vue de face

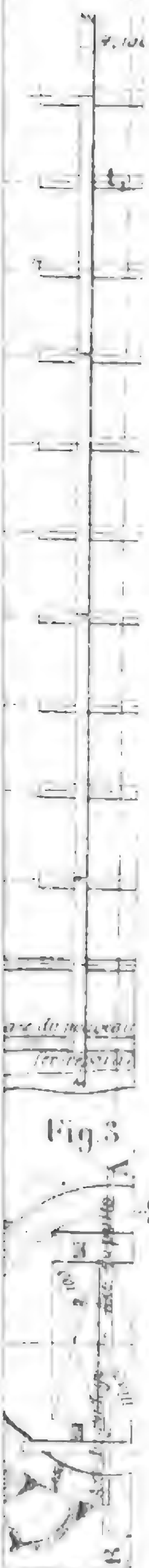




de 1/20

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque. Paris

Pl.VI



ig.1. Co

Fig.3

Fig.5. Coupe TT

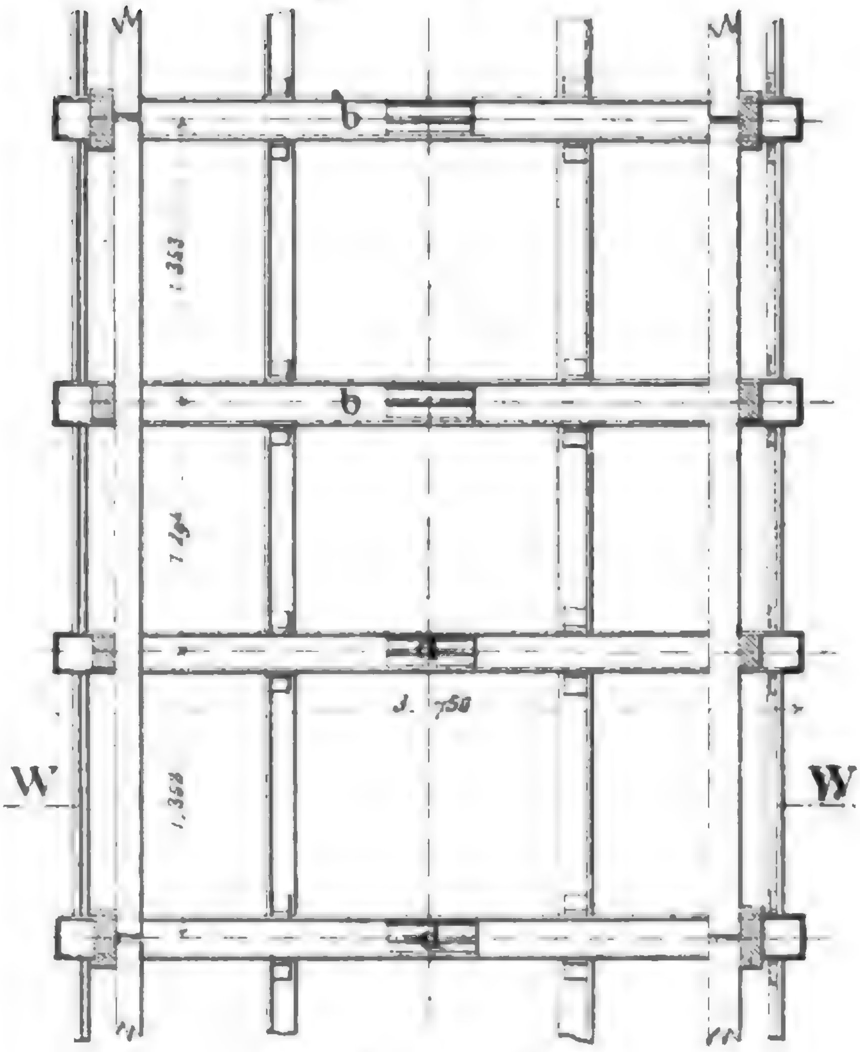
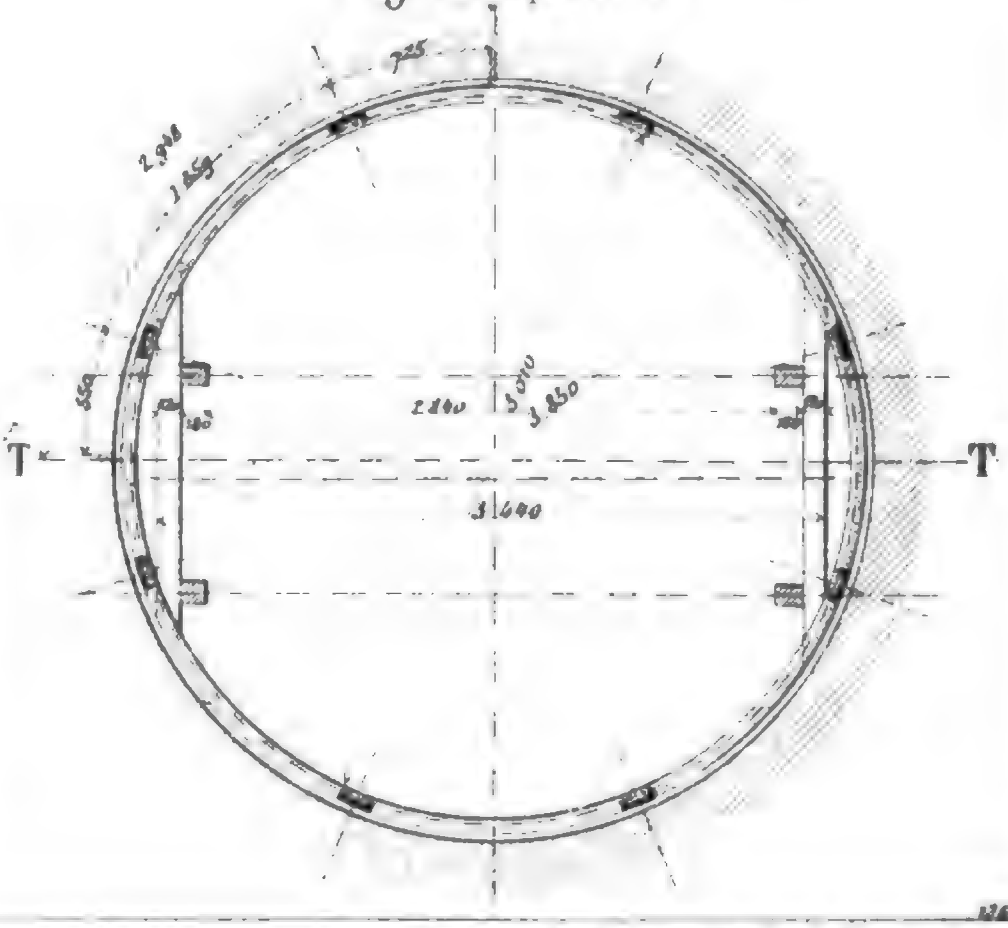


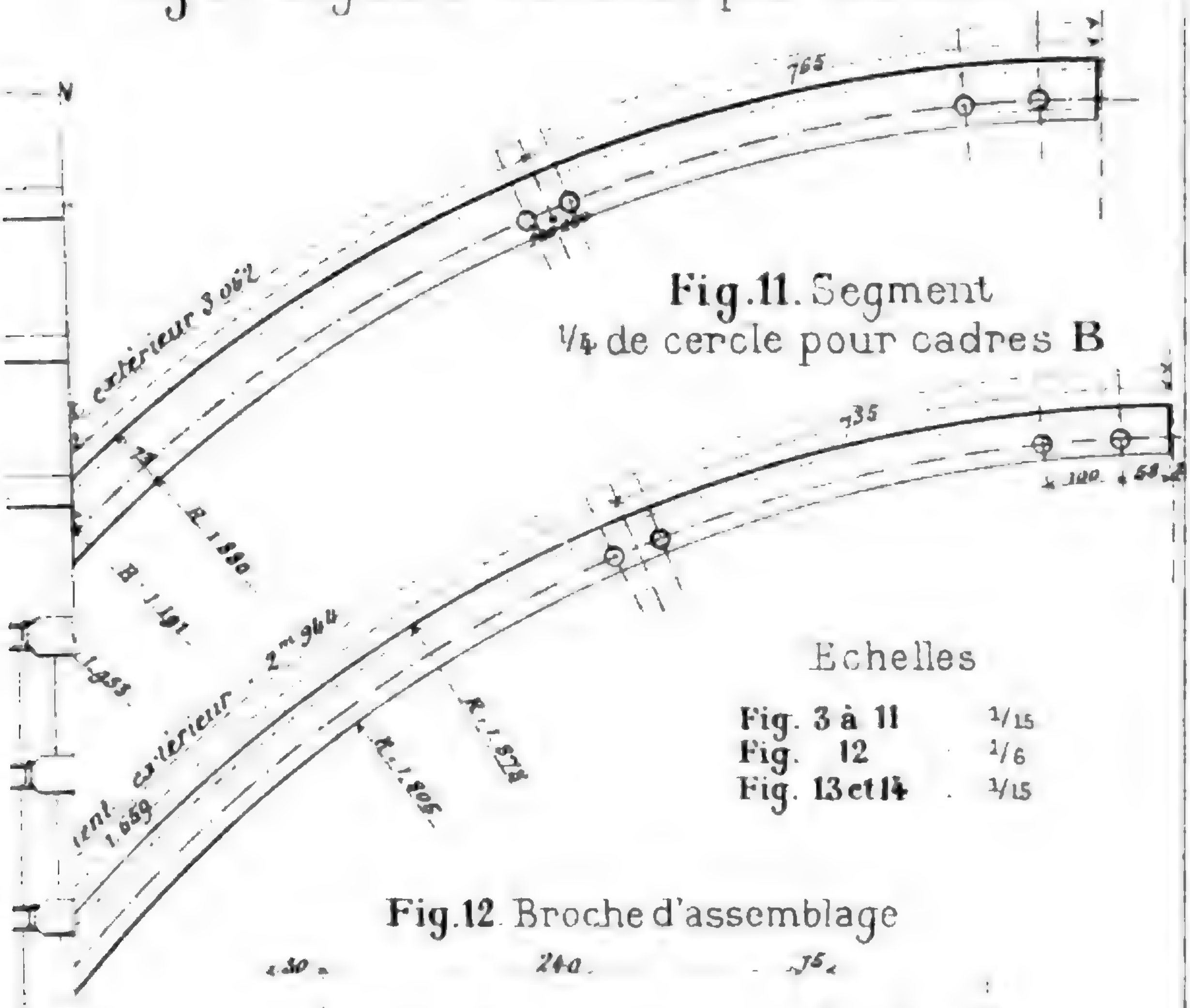
Fig.7 Coupe WW



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris.

Fig. 10. Segment 1/4 de cercle pour cadres **A**

Fig. 11. Segment 1/4 de cercle pour cadres **B**



Echelles

Fig. 3 à 11	1/15
Fig. 12	1/6
Fig. 13 et 14	1/15

Fig. 12. Broche d'assemblage

Fig. 13. Tôle de revêtement **E**

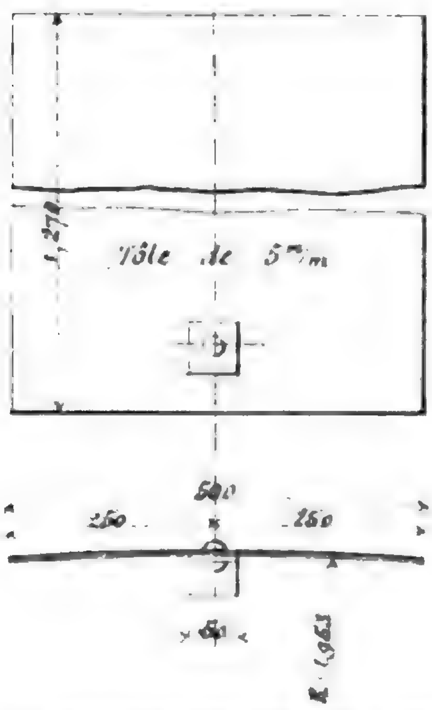
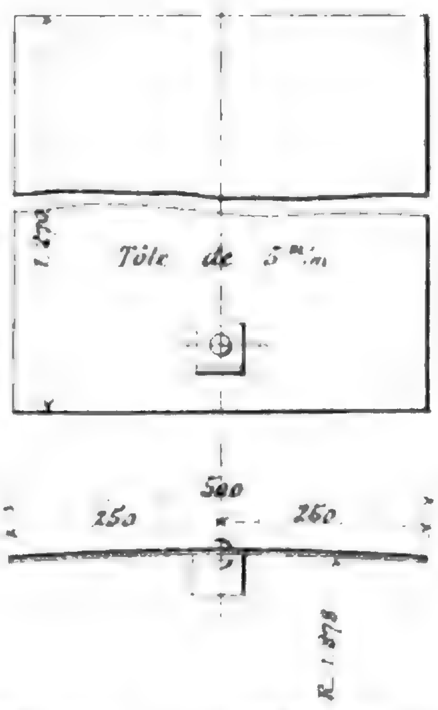
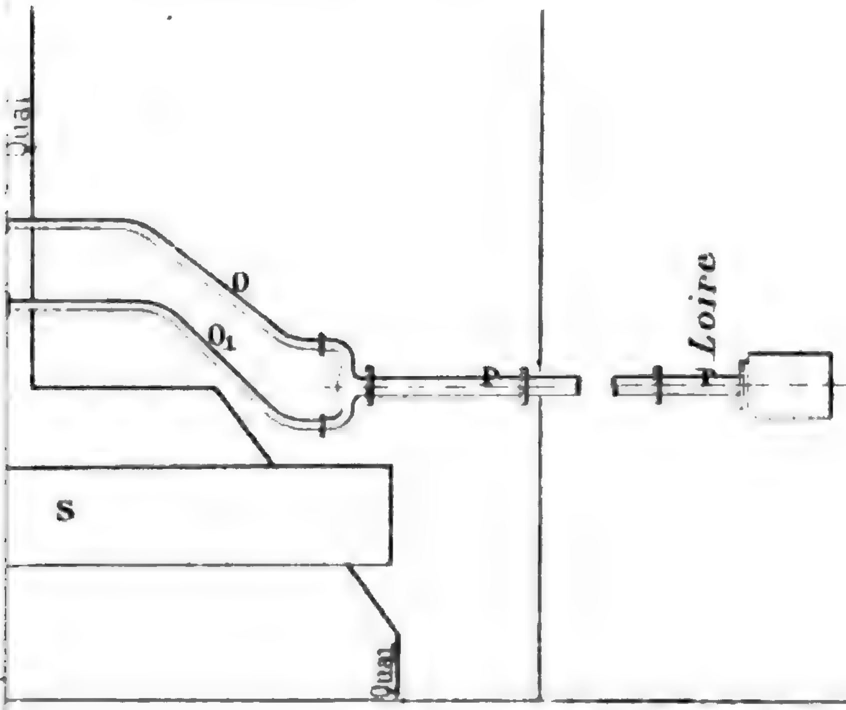


Fig. 14. Tôle de revêtement **F**



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

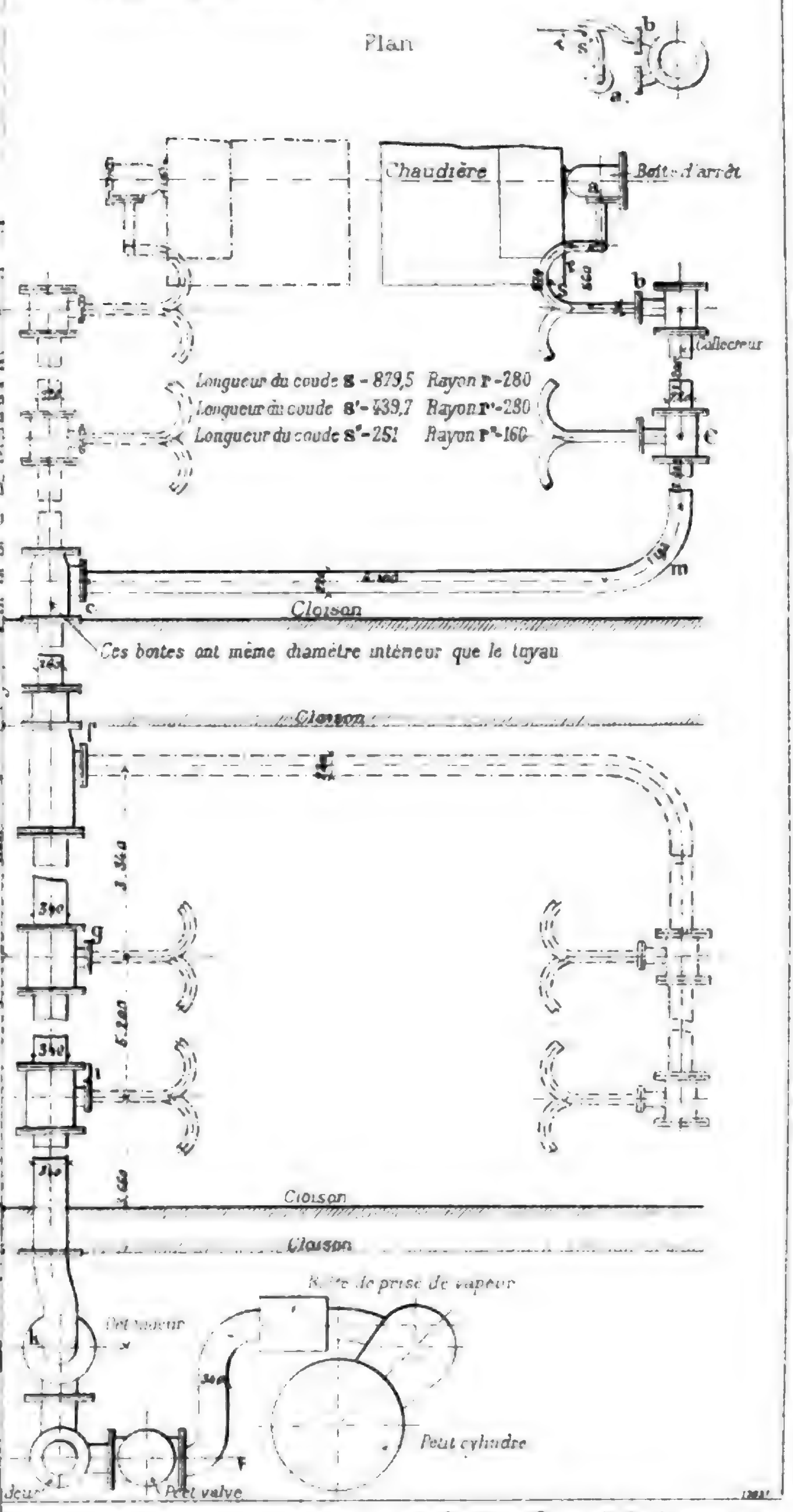
e grille	$3^{m^2}00$
e chauffe.	$145^{m^2}45$
	140 m/m
	100 m/m, 50 m/m
	D 760 m/m
nappement de la vapeur au condenseur	
nseur	80 m/m
	80 m/m
i la boite d'arrêt de la chaudière et au reservoir R	10 m/m
naudière	
	60 m/m
on	60 m/m
	40 m/m
air et de circulation	50 m/m
le mouvement au ventilateur	
s la chambre close	
	320 m/m
e	100 m/m
	80 m/m
me	100 m/m
	80 m/m
s turbines	20 m/m
ur des turbines	30 m/m
de circulation	220 m/m
culation	220 m/m
a vapeur aux turbines d'aspiration	



Mines,

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

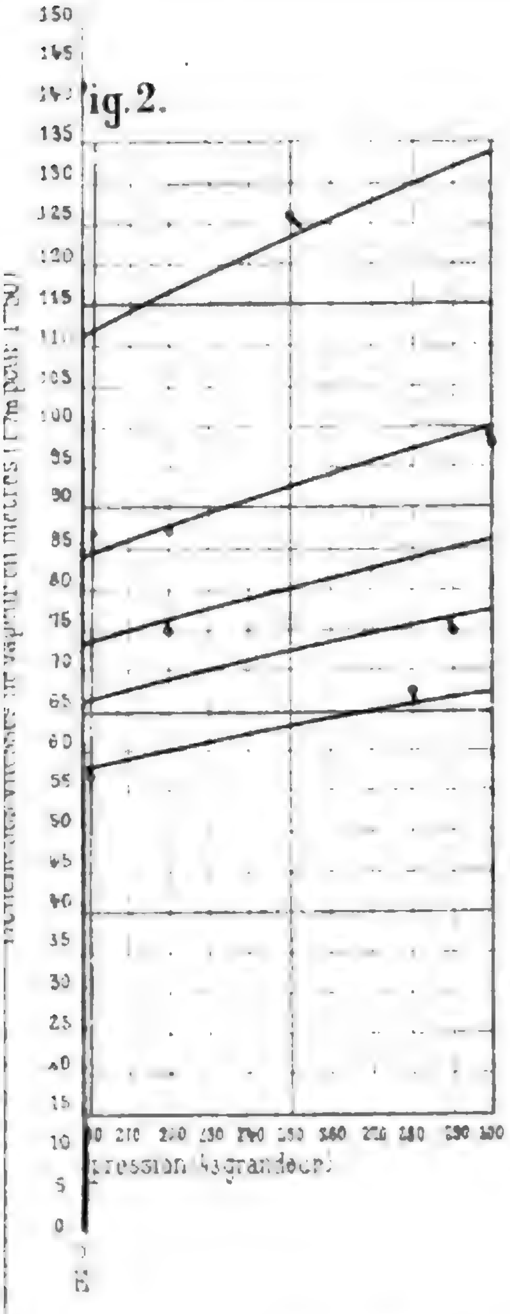
Fig. 4. Brennus



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Pl. X.

Fig. 2.



Tuyau N° 2 { longueur 25m,700 / diamètre 0m,100

Nota. *Les points • donnent les valeurs de vitesses de vapeur obtenues par l'expérience*

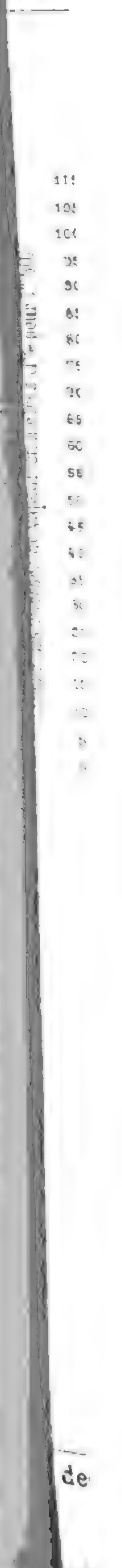
Pressions effectives	Valeurs de γ ou poids du mètre cube de vapeur en Kg	Valeurs de $\frac{v^2}{y}$	Valeurs de $\frac{v^2\gamma}{y}$
1k	1,12	47	52,6
3	2,14	24	51,4
5	3,13	17	53,2
7	4,10	13	53,3
10	5,53	9,2	51,1
Valeur moyenne de $\frac{v^2\gamma}{y}$ = 52			

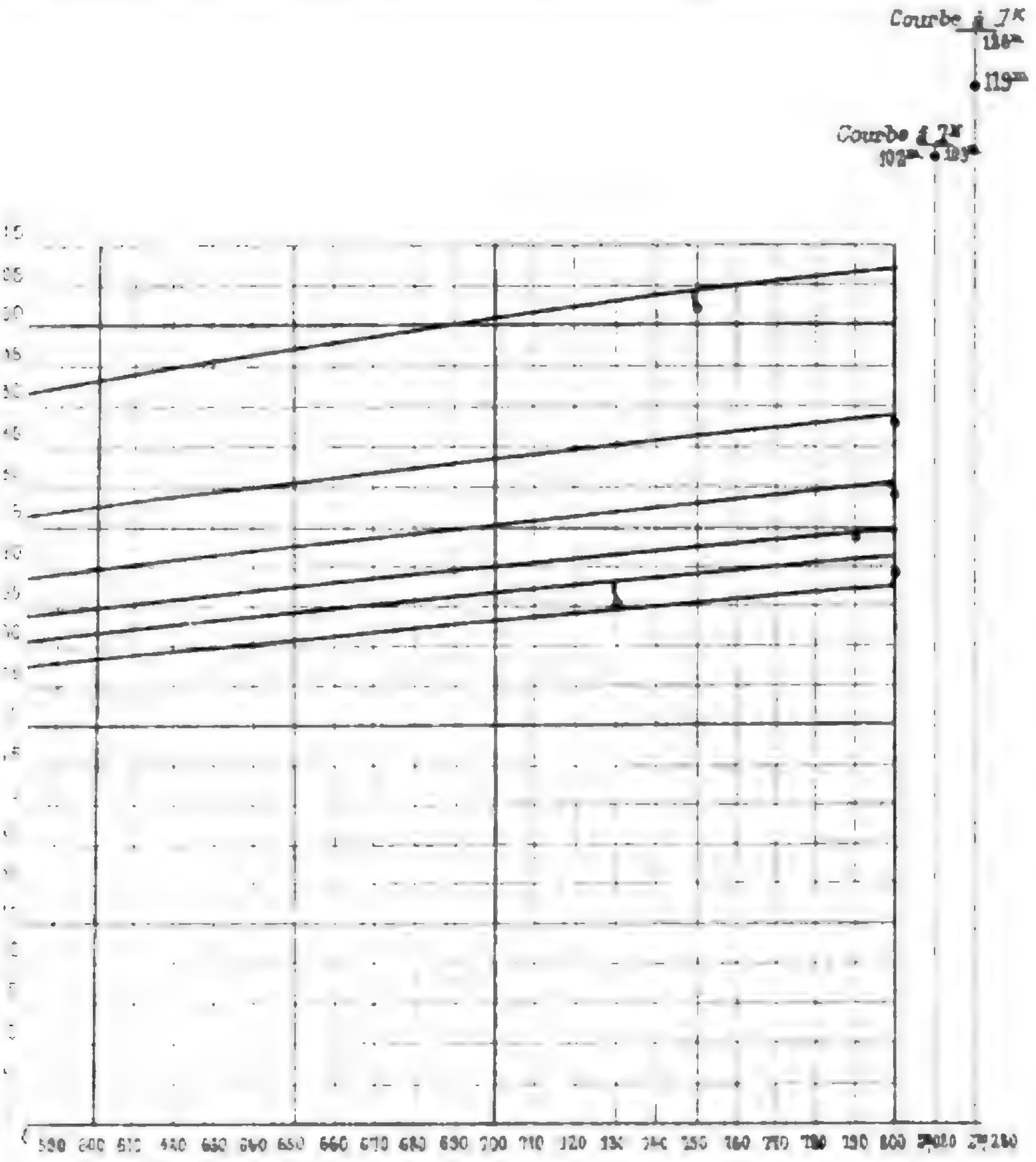
Tuyau N° 3 { longueur 50m,000 / diamètre 0m,100

Nota. *Les points • donnent les valeurs de vitesses de vapeur obtenues par l'expérience*

Pressions effectives	Valeurs de γ ou poids du mètre cube de vapeur en Kg	Valeurs de $\frac{v^2}{y}$	Valeurs de $\frac{v^2\gamma}{y}$
3k	2,14	14,5	31
5	3,13	10	31,3
7	4,10	7	28,7
10	5,54	5,4	29,9
Valeur moyenne de $\frac{v^2\gamma}{y}$ = 30			

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.





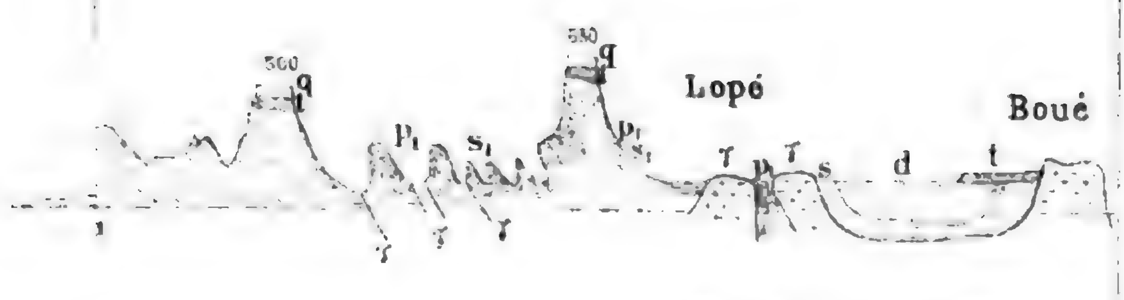
Tuyau N° 5 { Longueur 50m 000
diamètre 0m 050

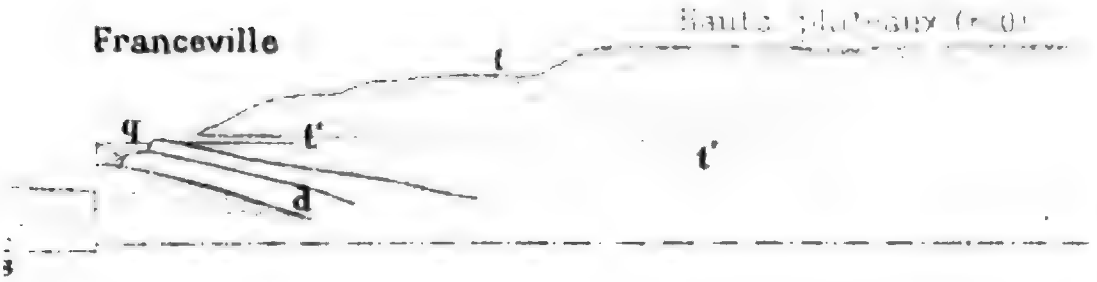
Nota *Les points • donnent les valeurs de vitesses de vapeur obtenues par l'expérience*

Pressions effectives	Valeurs de γ ou poids du mètre cube de vapeur en Kg	Valeurs de $\frac{V^2}{y}$	Valeurs de $\frac{V^2 \gamma}{y}$
1K	1K 12	16	17, 9
5	3 . 13	5 . 5	17 , 2
10	5 . 52	3	16 , 59
Valeur moyenne de $\frac{V^2 \gamma}{y}$. 17			

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Digitized by Google



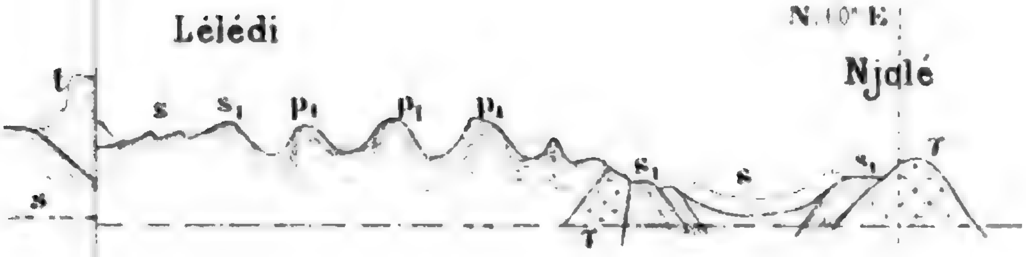


aPsammite rouge de Franceville.

q Diabase.

Niveau de la mer.

Changements de direction dans la coupe.



nde.

olittoreville

n.

Océan

Échelles :

Longueurs $\frac{1}{1.250.000}$

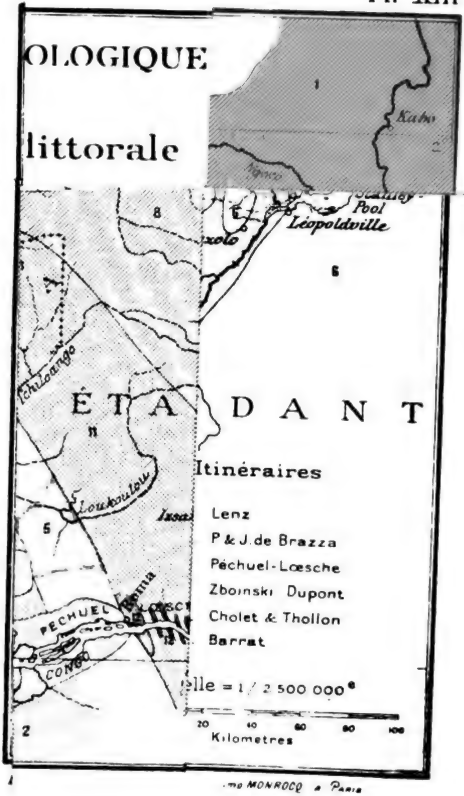
Hauteurs $\frac{1}{50.000}$

Auto-Imp L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Série.

Digitized by Google

Pl. XIII


OLOGIQUE
littorale
Pool
Léopoldville
ÉTA DANT
Tchiloango
Loukoulou
Itinéraires
Lenz
P & J. de Brazza
Péchuel-Lœsche
Zboinski Dupont
Cholet & Thollon
Barrat
PECHUEL
CONGO
lle = 1/2 500 000e
20 40 60 80 100
Kilometres
MONROCQ à Paris

ESQUISSE GÉOLOGIQUE
du Congo français et des Régions voisines

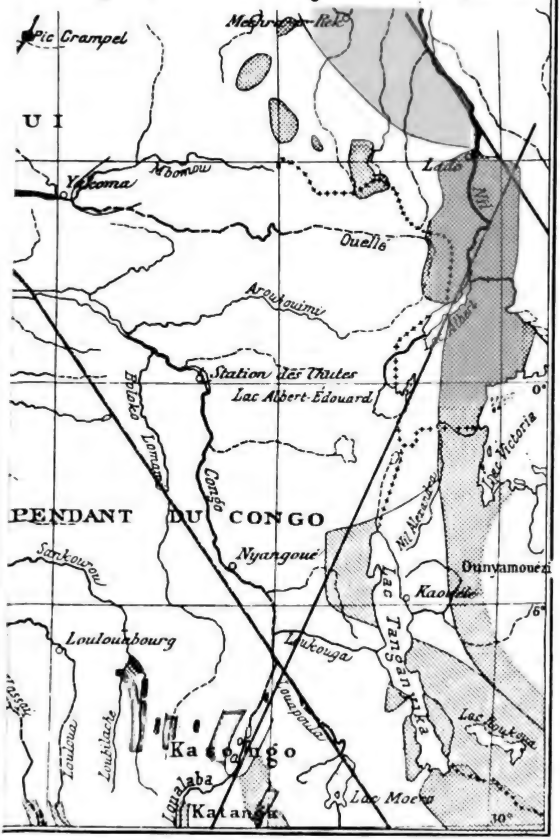
par Maurice Barrat, Ingénieur des mines

(d'après la carte d'Afrique publiée par la Société de Géographie)

Échelle 1/15,000.000 0 —— 200 kilomètres

Angola, d'après P. Choffat
Katanga, d'après J. Cornet

Bassin du Niger
Région des Gr.ds Lacs
d'après l'Atlas de Berghaus



Imp. Monrocq, à Paris

Digitized by Google

Pl. XV

Fig. 2.

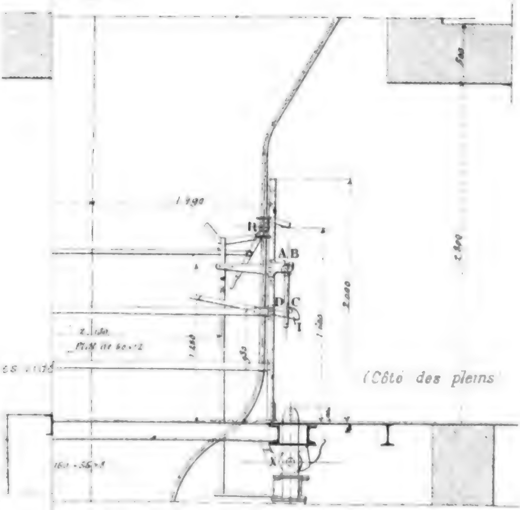
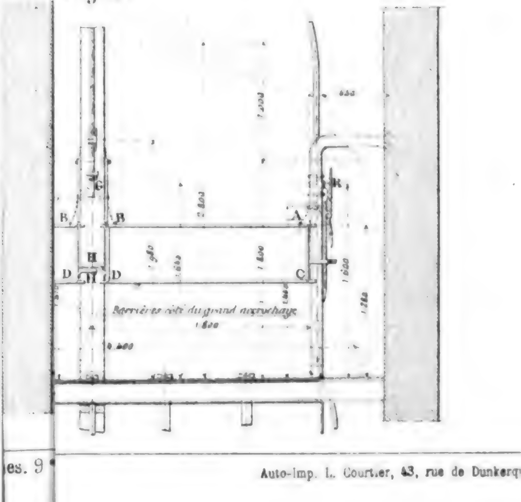


Fig. 4.



es. 9

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Digitized by Google

arri

Fig. 4.

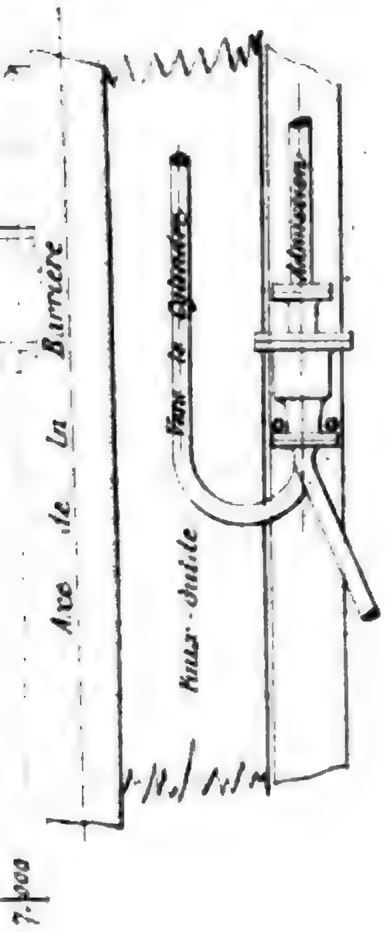


Fig. 5

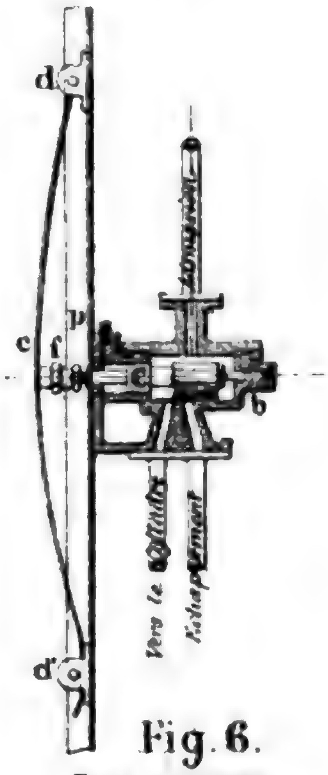


Fig. 6.

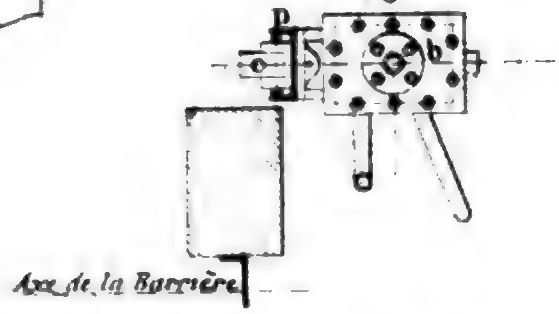


Fig. 8.

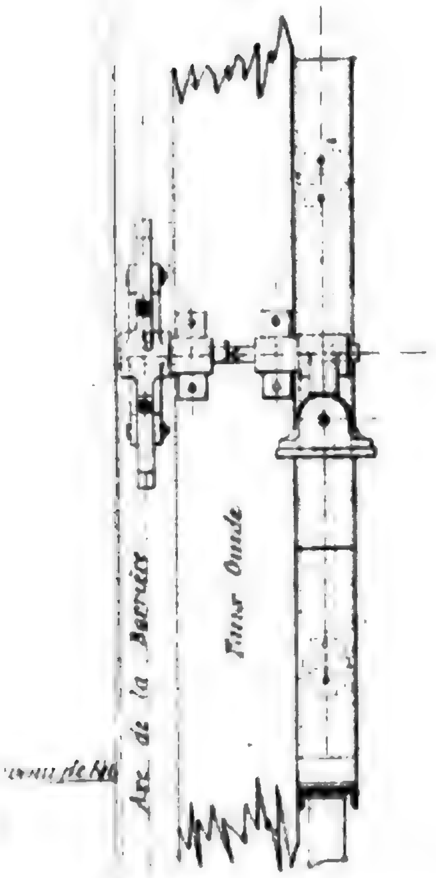
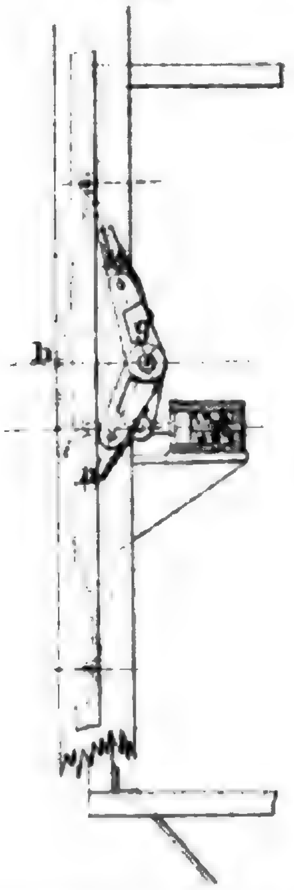


Fig. 9



nes. 9

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Compagnie des Mines de Béthune

Fig. 5 et 6. Profils

Vue de face

La barrière enclenchée et fermée

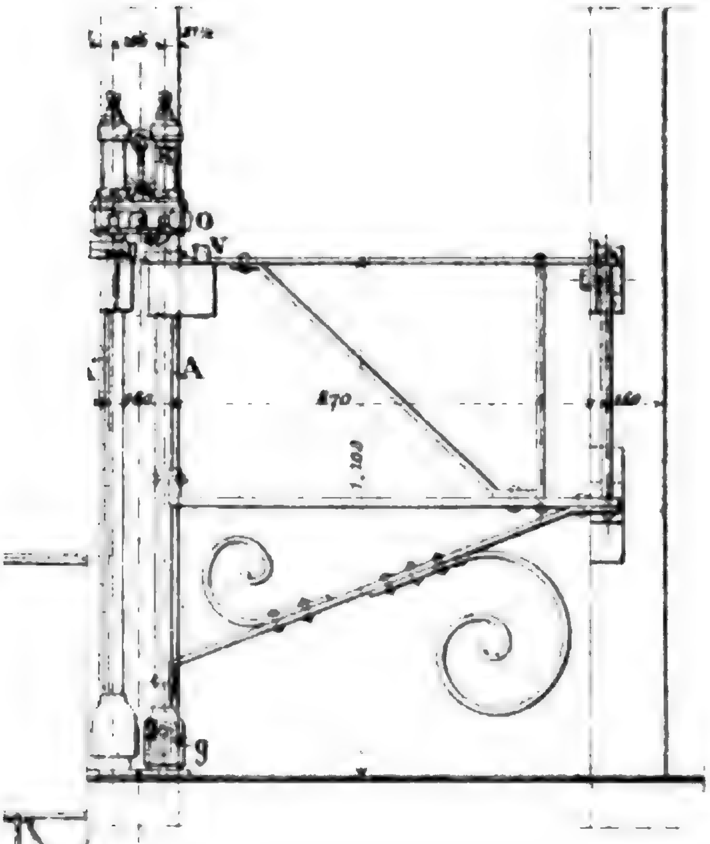
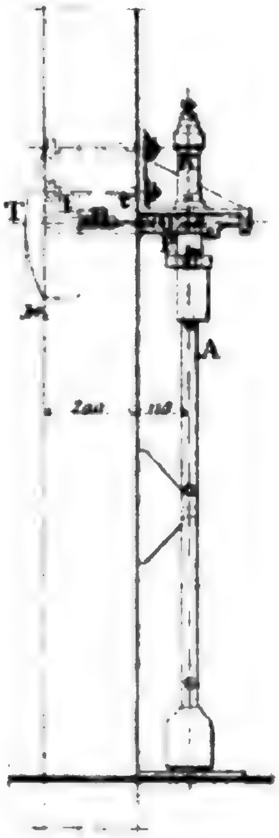


Fig. 5.



Vue en plan

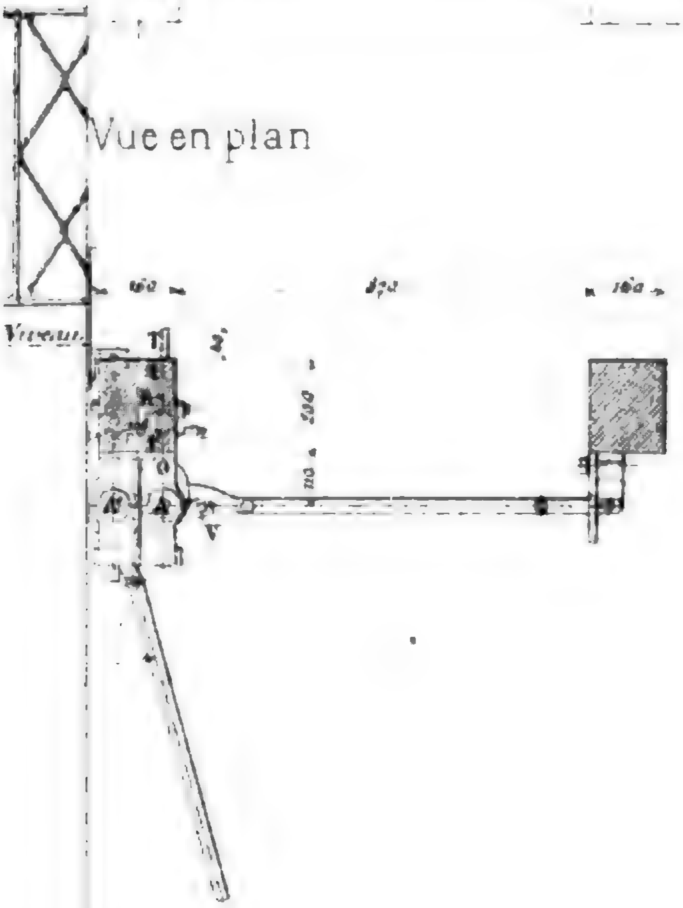
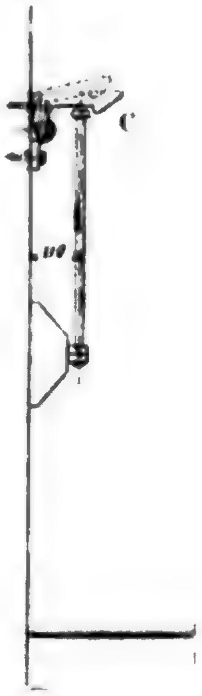


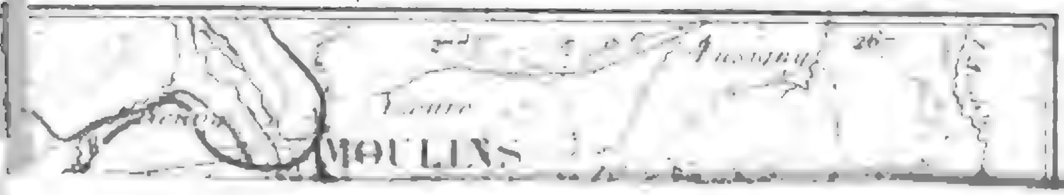
Fig. 6.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Digitized by Google

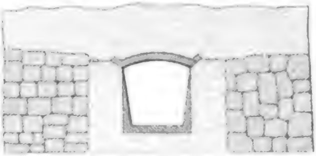
PL. XVIII.



Digitized by Google

Fig. 2.

Section de l'aqueduc des Combes



Coupe sur la longueur

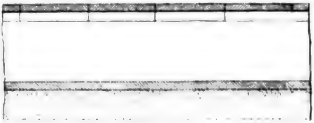
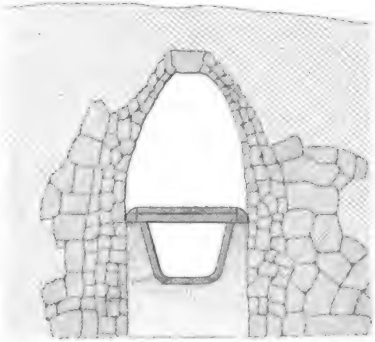


Fig. 3.

Section de l'aqueduc des Viviers



Détails des couverceaux

Fig. 2 et 3 0^{m}02 par mètre

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Digitized by Google

Pl.XX.

Fig. 4. Tranchée dirigée **N.125°E** en β. (Pl.XXI Fig 1) dans le granite

Echelle au $\frac{1}{200}$

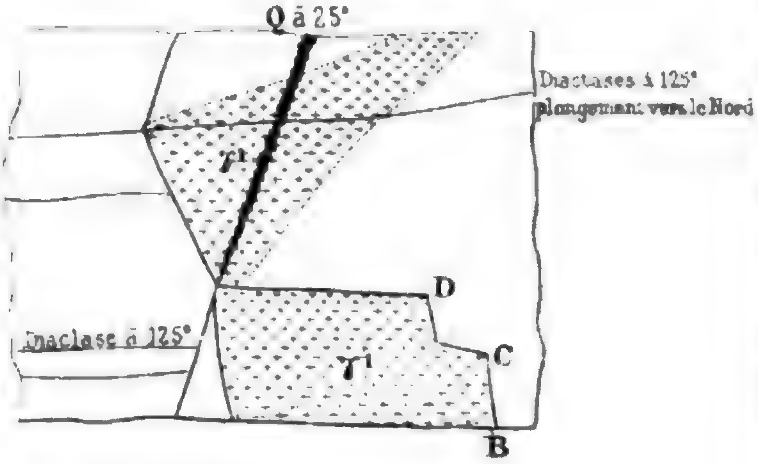


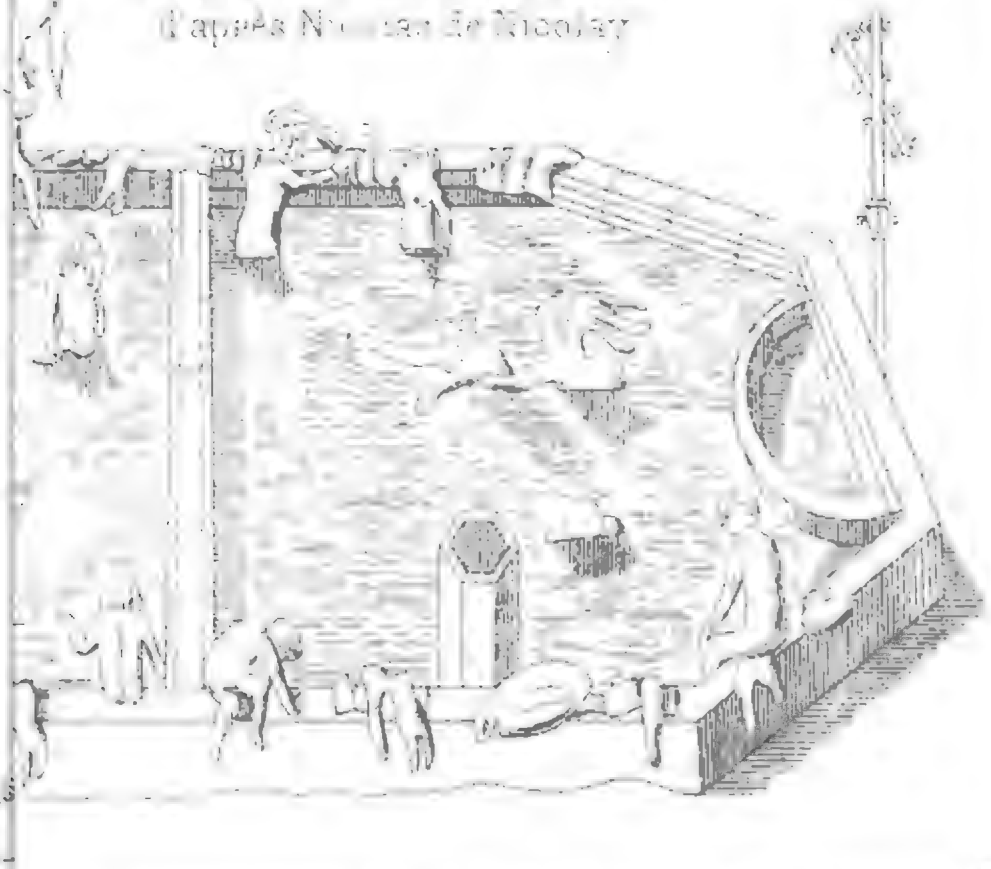
Fig. 6. Coupe schématique

Echelle au $\frac{1}{120000}$

Fig. 2.

Bains de Néris en 1569

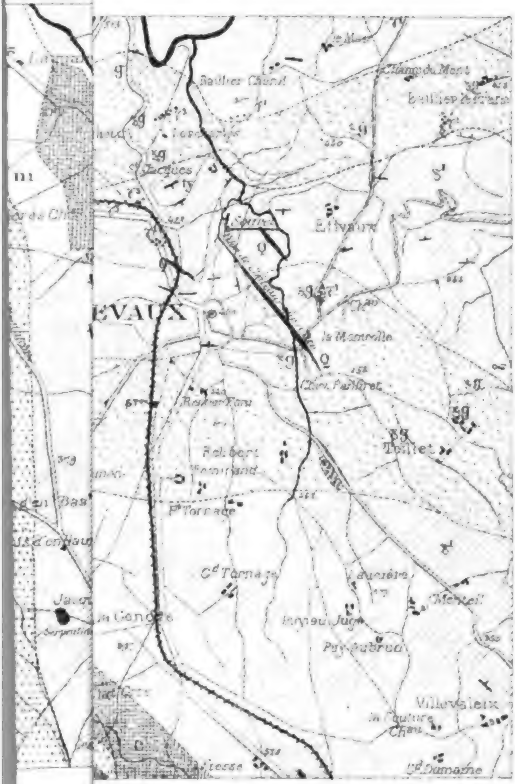
d'après Nicolas de Nicolay



Autoimp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Pl. XXI.

la région d'Évaux



Légende

Filons de quartz . . . Q

Carbonifère (dinantien) . . . c

Directions de schistosité

Brouillages dans la schistosité

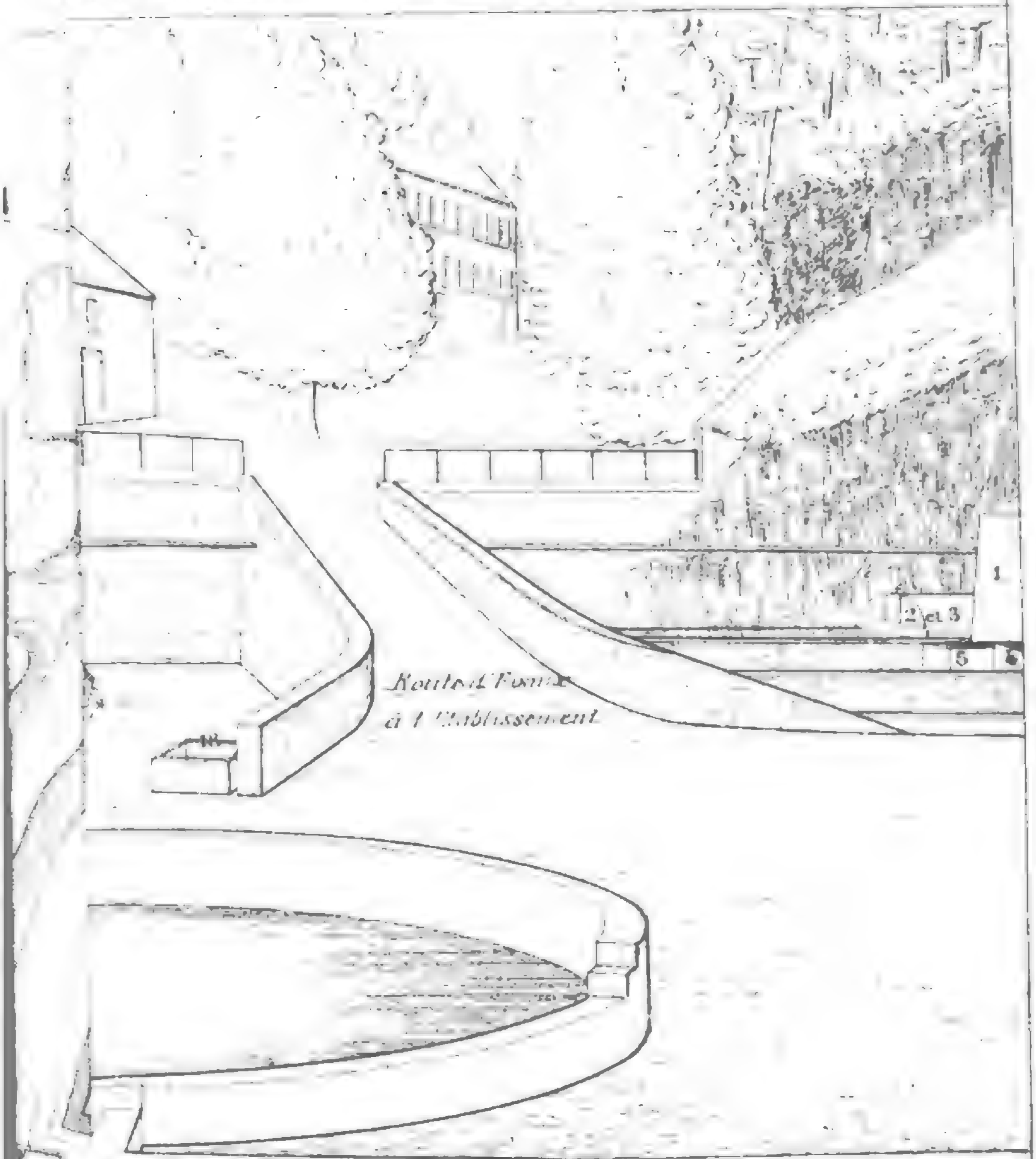
Schistosité verticale

Cartes (1/80 000)

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 2

…ment montrant les bassins et cheminées de captage



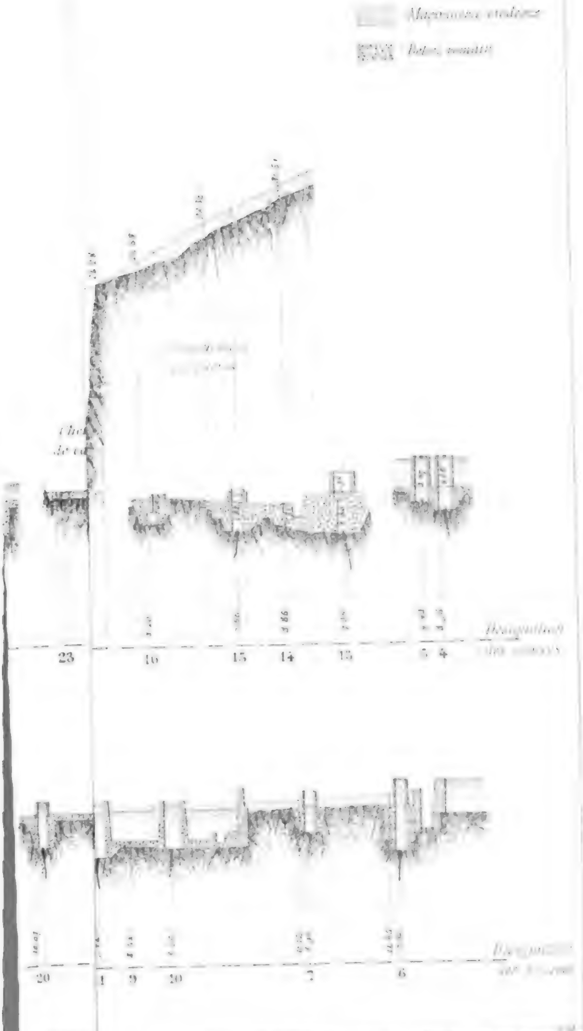
…gnation des Sources

17 Source Ste Marie
18 — d° de Lucratius
19 — d° — du Puits Triangulaire
20 — d° du Puits Ovale
21 — d° du Puits Octogonal
22 d° du Bassin Ovale (5 sources)
23 d° de la Margelle
24 d° — Desglaudes (2 sources)
25 d° de Rome Nord
26 d° de Rome Sud
27 d° des Jeunes Filles
28 d° du Ruisseau
29 Bassin tiède (*Tepidarium*)
30 Piscine froide (*Frigidarium*)
31 Ancienne Baignoire romaine
V Bain de Vapeur de l'Établissement actuel

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

des M…

PI. XXIII



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Digitized by Google

19 DEC 18

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

NEUVIÈME SÉRIE.

TOME VIII.

11e LIVRAISON DE 1895.

PARIS.

Vve CH. DUNOD & P. VICQ, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES,
DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1895

TABLE DES MATIÈRES.

NOVEMBRE.

PARTIE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE.

Pages

Méthodes d'analyse des fontes, des fers et des aciers ; par M. *Ad. Carnot* (*Suite et fin.*). 481

Bulletin des accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1894. 544

Étude sur les aciers propres à la construction des machines. Conditions de recette de ces aciers; par M. *Auscher*. 564

BULLETIN.

Législation étrangère. — Roumanie. Loi sur les mines du 21 avril 1895 et règlement pour son exécution du 29 avril 1895 590

Statistique de l'industrie minérale de l'Italie en 1894. 598

PARTIE ADMINISTRATIVE.

Septembre.

Lois, décrets et arrêtés concernant les mines, carrières, sources d'eaux minérales, chemins de fer en exploitation, etc. 411

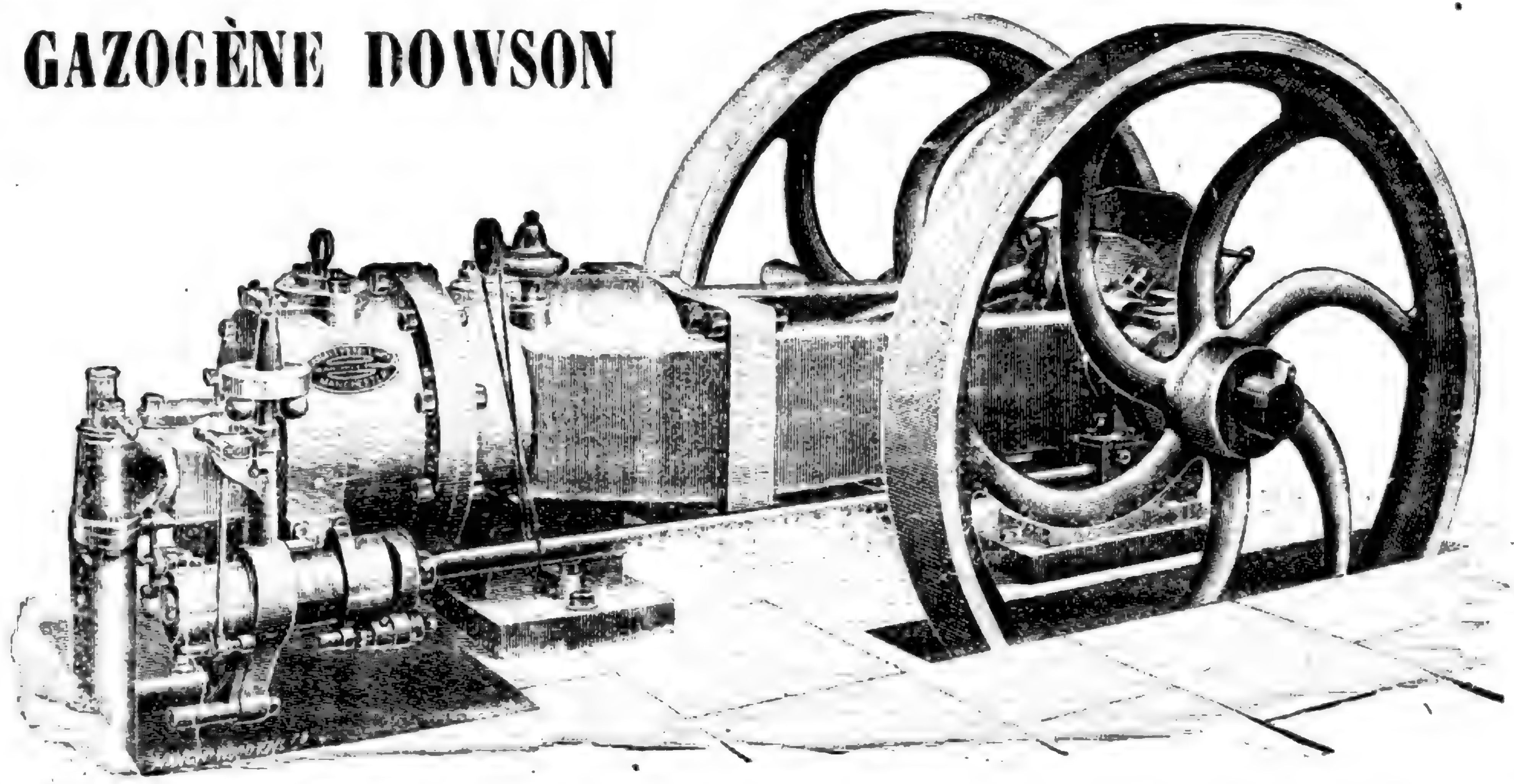
Circulaires et instructions adressées aux préfets, aux ingénieurs des mines, etc. 416

Jurisprudence. 420

Personnel. 427

Digitized by Google

GAZOGÈNE DOWSON



Le Moteur à gaz CROSSLEY, alimenté par le gazogène Dowson, ne consomme que **600 à 700** grammes **d'anthracite** par cheval et par heure. Le gaz Dowson pour chauffage industriel revient à **un centime** le mètre.

Seuls agents des Moteurs Crossley et du Gazogène Dowson :

J. & O.-G. PIERSON, 54, Faubourg Montmartre, Paris

MAGASIN D'EXPOSITION, 47, RUE LAFAYETTE

PLUS DE 40.000 MOTEURS EN MARCHE

Dont **25,000** *sortis de la Maison Crossley*

DE 1/2 A 140 CHEVAUX

SAUTTER, HARLÉ & C

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS

PARIS — 26, Avenue de Suffren, 26 — PARIS

EXPOSITION UNIVERSELLE 1889—HORS CONCOURS—JU

ÉCLAIRAGE

TRANSPORT DE FORC

PAR L'ÉLECTRICITÉ

ASSERVISSEMENT & COMMANDE ÉLECTRIQUE APPLIQUÉS A

L'OUTILLAGE DES MINE

POMPES

VENTILATEURS

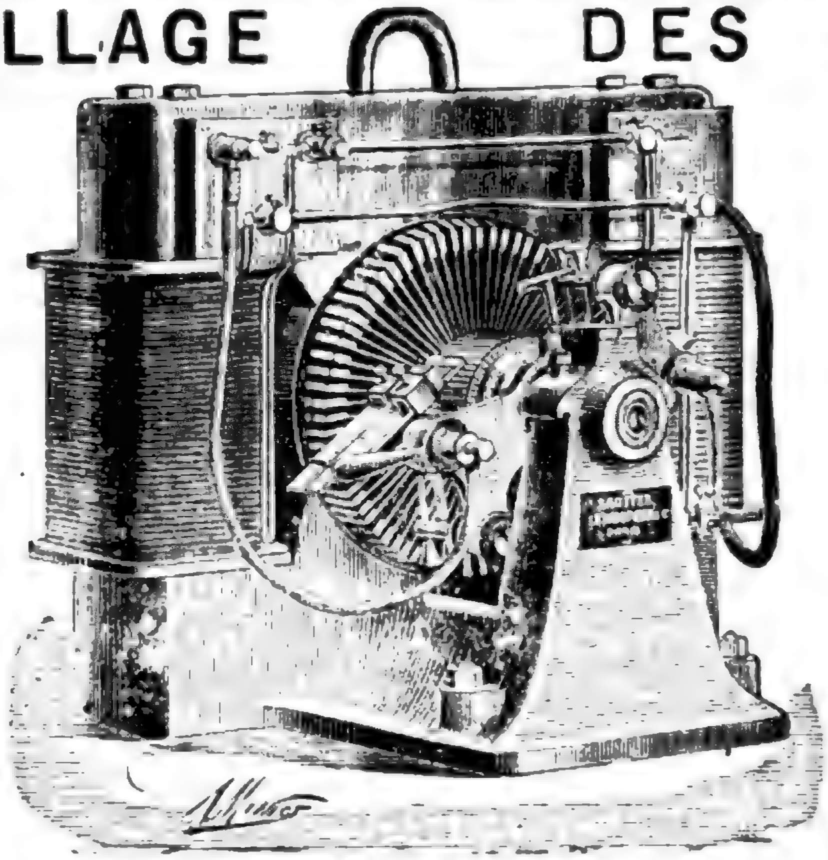
TRANCHEUSES

PERFORATRICES

TRIEUSES

PERCEUSES

COMPRESSEURS D'AIR



APPAREI DE LEVAGE

TREUII

GRUES

MONTE-CHA

TRANSBORDE

PLAN INCLIN

PRINCIPALES INSTALLATION

Aux MINES	d'ASPRIÈRES	Aveyron.
—	BLANZY	Saône-et-Loire.
—	BRUAY	Pas-de-Calais.
—	DADOU	Tarn.
—	DECAZEVILLE	Aveyron.
—	FRIEDRICHSSEGEN	
—	LAURIUM	Grèce.
—	MALINES	Hérault.
—	MIÈRES	Asturies.
—	MEURCHIN	Nord.
—	VIEILLE-MONTAGNE, Penchot, Bray-et-L	

ETC., ETC.

Digitized by Google

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE
POUR LA
FABRICATION DE LA DYNAMITE
Procédés A. NOBEL

Paris, 1889 — Deux Médailles d'Or

Seule Médaille d'Or décernée en 1889 pour la Dynamite

SIÈGE SOCIAL : 12, Place Vendôme, PARIS

USINES { à Paulilles, près Port-Vendres (Pyrénées-Orientales).
à Ablon, près Honfleur (Calvados).

Dynamite-Gomme, pour roches très dures. — Dynamite, n° 1 guhr, n° 1 gélatinée, n° 1 à l'ammoniaque, pour roches dures. — Dynamite, n° 0, pour travaux dans l'eau. — Dynamites, n° 2 et n° 3, pour terrains moins résistants.

Explosifs spéciaux pour charbonnages grisouteux (Décret du 1er août 1890)

Grisoutine-Gomme pour travaux au rocher. — Grisoutine B pour travaux dans le charbon.

Mèches de mineurs. — Capsules pour Dynamite. — Amorces, Câbles, Fils et appareils électriques pour sautage des mines. — Marmites suédoises ou Seaux à dégeler la Dynamite.

La Correspondance doit être adressée au SIÈGE SOCIAL

TÉLÉPHONE — SOCIÉTÉ ANONYME — TÉLÉPHONE

D'EXPLOSIFS ET DE PRODUITS CHIMIQUES

Capital : 2.000.000 de francs

19, rue Louis-le-Grand, 19, PARIS

Usines :

SAINT-MARTIN-DE-CRAU
(France)

VILLAFRANCA-in-LUNIGIANA
(Italie)

DYNAMITES,
GOMMES ET GRISOUTINES,
MÈCHES,
DÉTONATEURS, CABLES,
FILS
ET APPAREILS ÉLECTRIQUES

La correspondance doit être adressée au siège social, 19, rue Louis-le-Grand,
PARIS.

TÉLÉPHONE — TÉLÉPHONE

EXPOSITION UNIVERSELLE. PARIS 1889

2 MÉDAILLES D'OR

CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

MATÉRIEL POUR MINES

VENTILATEURS SYST. L. SER

Brevetés S. G. D. G.

A BRAS, FIXES ET PORTATIFS

Pour Mines, Forges, Fonderies, Navires, Séchoirs, etc. Seul ventilateur ayant obtenu la médaille d'or à l'Exposition universelle de Paris 1889, la plus haute récompense accordée aux appareils de ce genre.

Références : Plus de 300 applications en 3 ans.

TUYAUX D'AÉRAGE

COMPRESSEURS D'AIR Syst. BURCKHARDT & WEISS

Breveté S. G. D. G.

A GRANDE VITESSE, FONCTIONNANT A SEC — MODÈLE 1891

APPAREILS A AIR COMPRIMÉ

PERFORATEURS ET BOSSEYEUSES

Syst. DUBOIS & FRANÇOIS. — Breveté S. G. D. G.

HAVEUSE BLANZY

TREUILS POUR EXTRACTION ET FONÇAGE

A VAPEUR, A AIR COMPRIMÉ ET ÉLECTRIQUES

5 types différents

MACHINES D'EXTRACTION ET TREUILS DE SECOURS

TREUILS MUS PAR TURBINES

POMPES FRANÇAISES A ACTION DIRECTE

POMPES A COURROIES

POMPES HELICO-CENTRIFUGES. Syst. MAGINOT & PINETTE

POMPES ÉLÉVATOIRES

POUR ÉPUISEMENTS DANS LES MINES, ÉLÉVATION D'EAU pour Villes et Usines, etc.

Nombreuses Références. — La machine d'épuisement fournie aux houillères de Rochebelle, est comprise pour élever 100 mètres cubes à l'heure à une hauteur totale de 250 mètres d'un seul jet; son poids a dépassé 40.000 kilos.

CRIBLE GIRATOIRE Syst. COXE, B^té S. G. D. G.

POUR HOUILLES, MINERAIS, ETC., ETC.

PRODUCTION CONSIDÉRABLE DANS UN APPAREIL DE DIMENSIONS RESTREINTES

CASSE-COKE — CASSE-CHARBON — CHAINES A GODETS

LAVOIRS — TRIAGES — CRIBLAGES — DÉSCHISTAGES

TRAINAGES MÉCANIQUES — VAGONNETS ET VOIES PORTATIVES

CHEVALEMENTS MÉTALLIQUES, CHARPENTES EN FER — MOLETTES

CAGES D'EXTRACTION FER OU ACIER AVEC PARACHUTE

Paliers à rotule Roquel, évitant le frottement des câbles sur les joues des molettes

MACHINES ET CHAUDIÈRES A VAPEUR

LOCOMOBILES — TRANSMISSIONS — GROSSE CHAUDRONNERIE

DEVIS, ÉTUDES D'INSTALLATIONS, RENSEIGNEMENTS

Catalogues sur demande.

G. PINETTE* CHALON-S-SAONE (PRANNE)

MAISON FONDÉE EN 1830

Personnel — 250 Ouvriers

Digitized by Google

TRÉFILERIE ET CORDERIE MÉCANIQUES
DE LA COMMISSION DES ARDOISIÈRES D'ANGERS

LARIVIÈRE & C^IE

CH. FOUINAT

TÉLÉPHONE ❖ 170, Quai Jemmapes, PARIS ❖ *TÉLÉPHONE*

CORDAGES MÉTALLIQUES RONDS ET PLATS
EN FER, ACIER, CUIVRE

Pour Mines, Carrières, Houillères, Plans inclinés, Cabestans, Appareils à lever, Manœuvres courantes et dormantes de marine et batellerie, Transmission de force motrice, Signaux, Horlogerie, Paratonnerres, Puits, Clôtures.

EXPOSITION UNIVERSELLE, PARIS 1889
Membre du Jury — Hors Concours
DEUX GRANDS PRIX : ANVERS 1894
ENVOI FRANCO DE TOUS RENSEIGNEMENTS

COMPAGNIE FRANÇAISE DES MÉTAUX
Société anonyme au Capital de 25 millions.
Siège social : 10, rue Volney, 10, Paris.
DÉPOT A PARIS : 12, rue Elzévir.

USINES A

Deville-lès-Rouen (Seine-Inf.), **Castelsarrazin** (Tarn-et-Garonne), **Serifontaine** (Oise), **Givet** (Ardennes), **Bornel** (Oise), **Saint-Denis** (Seine) et **Paris**, rue Vieille-du-Temple, 76.

Fonderie, Laminage, Emboutissage, Étirage et Tréfilerie du Cuivre, Plomb, Étain, Zinc, Nickel, Maillechort, Aluminium, Tubes en cuivre rouge et laiton soudés et étirés.
Tubes en acier sans soudure pour chaudières et vélocipèdes. Tubes à ailerons pour chaudières et appareils de sucrerie.
Planches en cuivre rouge et laiton. — Barres en cuivre rouge et laiton.
Fils en cuivre rouge, demi-rouge et laiton. — Lingots en cuivre rouge.
Plaques en cuivre rouge pour foyers de locomotives.
Coupoles en cuivre rouge. — Plaques cuivre à doublé pour orfèvrerie.
Étain affiné en ligots et en feuilles. — Plomb en tables et en tuyaux. — Plomb doublé d'étain pour tuyaux.
Plaques et fils maillechort. — Planches et fils de nickel.
Rouleaux en cuivre et en laiton pour impression. — Enveloppes d'obus en acier.
Fils de cuivre de haute conductibilité pour usages télégraphiques.
Tubes pour optique, pour gaz, ornés et câblés, pour bijouterie.

MÉDAILLE D'ARGENT, PARIS 1855 — MÉDAILLE D'OR, PARIS 1867
GRAND DIPLOME D'HONNEUR, VIENNE 1873
GRAND PRIX, PARIS, 1878 — DIPLOME D'HONNEUR, ANVERS 1885

Digitized by Google

ENTREPRISE GÉNÉRALE DE FORAGES ET SOND

H. BECOT Ingr civil

25, rue de la Quintinie, PARIS-VAUG

RECHERCHES D'EAU

DE MINES, PÉTROLE, SEL, E

PUITS ARTÉSIENS, PUITS ABSORBANTS

PUITS D'AÉRAGE

Consolidations par injections de cim

ÉTUDES DE TERRAINS

FORAGES A GRANDES SECTIONS

CAPTAGE DE SOURCES

VENTE D'APPAREILS ET OUTILS DE SONDA

Pour Missions scientifiques, Entreprises coloniales, etc.

CHAUDRONNERIE ET FUMISTERIE INDUSTRIELLES

MÉDAILLE d'Argent 1891-1893 — ENTREPRISE GÉNÉRALE DE CONSTRUCTION — MÉDAILLE de Vermeil 1893

ET INSTALLATION D'USINES

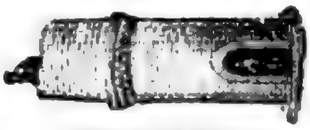
CHEMINÉES EN BRIQUES ET EN TÔLE

CHAUDRONNERIE EN FER ET EN CUIVRE EN TOUS GENRES

RÉPARATIONS, PIQUAGE ET NETTOYAGE DES CHAUDIÈRES A VAPEUR DE TOUS SYSTÈMES

PRÉPARATION DES ÉPREUVES DÉCENNALES DES APPAREILS A VAPEUR

NOUVEAU SYSTÈME DE FOYER MÉTALLIQUE ET APPAREIL FUMIVORE BREVETÉ S. G. D. G.

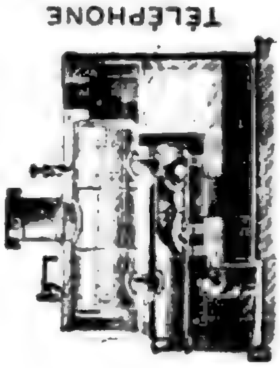


TÉLÉPHONE

Mon DÉROCHE

21, rue Labois-Rouillon, PARIS

TÉLÉPHONE



Massifs de Machines. Fournitures pour Usines.

RÉSERVOIRS EN CIMENT, EN TOLE, ETC.

Fours pour toutes Industries.

Applications générales de l'électricité. — Installations particulières.

PLANS ET DEVIS SUR DEMANDE

MAISON FONDÉE EN 1

L. DUMONT

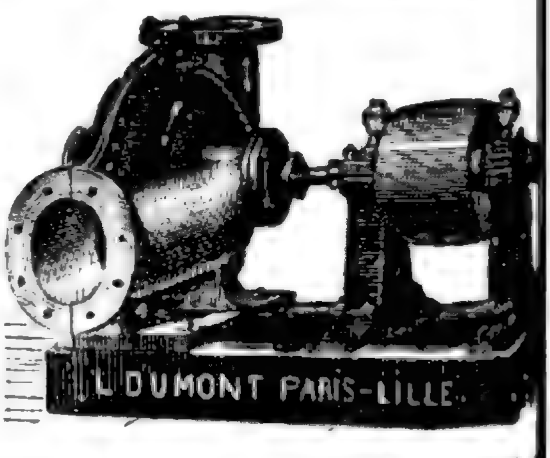
PARIS, 55, rue Sedaine

LILLE, 100, rue d'Isly

POMPES CENTRIFU

MÉDAILLE D'OR

EXPOSITION UNIVERSELLE 18



Applicable aux manufactures en général et pour travaux

POMPES CONJUGUÉES POUR GRANDES ÉLÉVATI

SUPÉRIORITÉ JUSTIFIÉE

PAR

8500 APPLICATION

Envoi franco du Catalogue

SI vous avez une question à résoudre ou un renseignement à demander, adressez-vous au Journal

LE PRATICIEN
INDUSTRIEL

Intermédiaire de l'Industrie et des Arts-et-Métiers

Rédigé par Demandes et par Réponses

Indispensable aux Travailleurs

PARAIT 2 FOIS PAR MOIS

Un an, **10** fr. — Six mois, **6** fr.

PARIS. — 49, quai des Grands-Augustins. 49

Librairie V^ve^ CH. DUNOD & P. VICQ, Éditeurs.

49, quai des Grands-Augustins, PARIS

Viennent de Paraître :

TRAITÉ D'ÉLECTRICITÉ

THÉORIE ET APPLICATIONS GÉNÉRALES

Par **RODARY**, Sous-Chef de division à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Un vol. gr. in-8°, orné de 586 fig., élégamment cartonné. **20** fr.

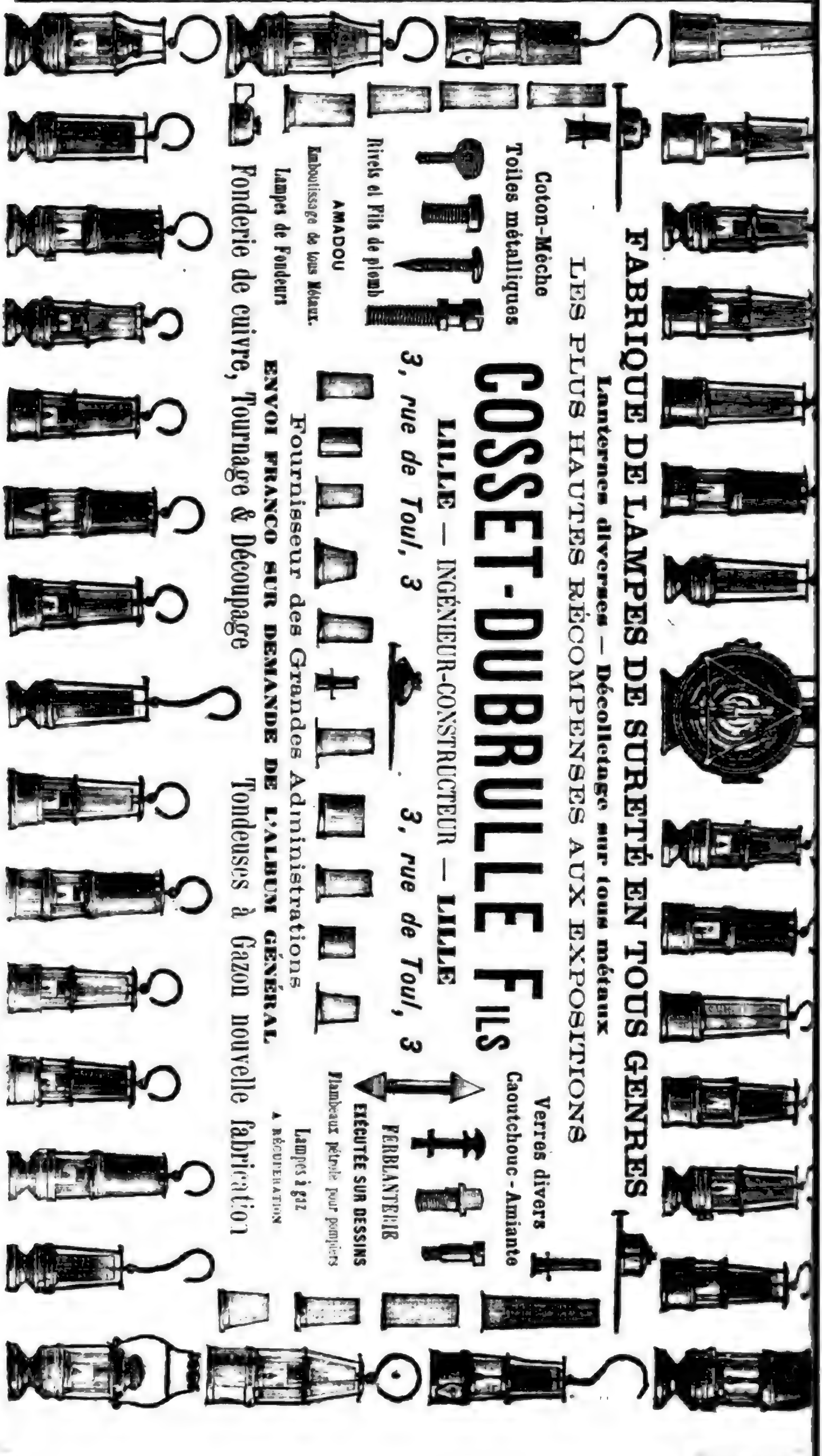
LES MOTEURS A GAZ ET A PÉTROLE

EN 1893 ET 1894

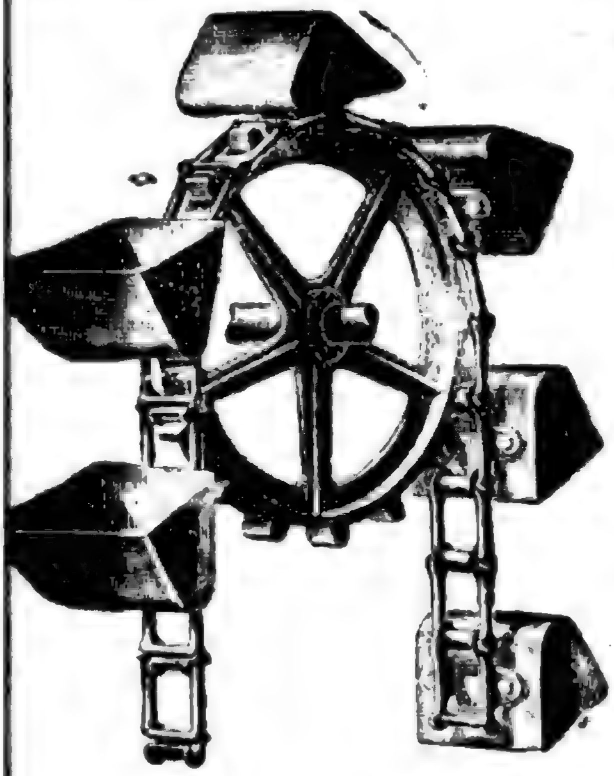
Par **Gustave RICHARD,** Ingénieur civil des mines.

Un volume grand in-8°, avec figures . . . . **10** fr.

Digitized by Google


FABRIQUE DE LAMPES DE SURETÉ EN TOUS GENRES
Lanternes diverses — Décolletage sur tous métaux
LES PLUS HAUTES RÉCOMPENSES AUX EXPOSITIONS
Coton-Mèche
Toiles métalliques
COSSET-DUBRULLE FILS
Verres divers
Caoutchouc-Amiante
LILLE — INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR — LILLE
3, rue de Toul, 3
3, rue de Toul, 3
Rivets et Fils de plomb
AMADOU
Emboutissage de tous Métaux.
Lampes de Fondeurs
FERBLANTERIE
EXÉCUTÉE SUR DESSINS
Flambeaux pétrole pour pompiers
Lampes à gaz
A RÉCUPÉRATION
Fournisseur des Grandes Administrations
ENVOI FRANCO SUR DEMANDE DE L'ALBUM GÉNÉRAL
Fonderie de cuivre, Tournage & Découpage
Tondeuses à Gazon nouvelle fabrication

ÉLÉVATEURS ET TRANSPORTEURS



avec Chaînes simples

Système Bagshawe

Brevetées S. G. D. G.

GODETS TOLE D'ACIER

VIS D'ARCHIMÈDE

Appareils pour Déchargements DE BATEAUX

TRANSMISSIONS

BAGSHAWE Frères

Ingénieurs Constructeurs, 43, rue Lafayette. — PARIS

HATON DE LA GOUPILLIÈRE

Membre de l'Institut,

Directeur de l'École supérieure des Mines de Paris.

COURS D'EXPLOITATION DES MINES

2 vol. in-8°, avec nombr. vignettes intercalées dans le texte. 60 fr.

COURS DE MACHINES

TOME I. — In-8°, avec nombreuses vignettes intercalées dans le texte. 30 fr.

TOME II — — — 30 fr.

VON GRODDECK

TRAITÉ DES GITES

MÉTALLIFÈRES

TRADUIT DE L'ALLEMAND

Par H. KUSS

Ingénieur en chef des mines.

1 volume in-8°, avec nombreuses figures intercalées dans le texte.

Prix. . . . . 15 fr.

Depuis Janvier 1892

LES ANNALES DES MINES

Paraissent tous les mois

REVUE GÉNÉRALE DES CHEMINS DE FER

PUBLICATION MENSUELLE TECHNIQUE

ADOLPHE CARNOT

Ingénieur en chef des Mines, Inspecteur de l'École.

DOCIMASIE

TRAITÉ D'ANALYSE DES SUBSTANCES MINÉRALES

POUR PARAITRE PROCHAINEMENT

LOUIS AGUILLON

Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École nationale supérieure des Mines

NOTICE HISTORIQUE SUR L'ÉCOLE DES MINES DE PARIS

1 volume in-8°. . . . . 5 fr.

TABLISSEMENTS GENESTE, HERSCHER & Cie

MAISON PRINCIPALE A PARIS, 42, RUE DU CHEMIN-VERT

Usine à Creil. — Succursale à Bruxelles

EXPOSITION UNIVERSELLE DE PARIS 1889 : FRANCE : 3 GRANDS PRIX, BELGIQUE : 1 GRAND PRIX

EXPOSITIONS DE LYON 1894 : GRAND PRIX, D'ANVERS 1894 : 4 GRANDS PRIX

VENTILATEURS DE MINES,

Rendement dépassant 85 0/0

Collection complète de Ventilateurs pour Fonderies, Forges, Navires, Ateliers, Ventilation, etc.
Dispositions spéciales pour être actionnes par moteurs à vapeur, hydrauliques, électriques, air comprimé, etc., etc.
Petits Ventilateurs à bras pour galeries de recherches ou autres.

APPLICATIONS DU GÉNIE SANITAIRE

Ventilation mécanique, Chauffage à vapeur, à eau chaude, etc. Projets, Construction d'appareils et installations.

Assainissement des Villes et des Habitations

Étude, Fabrication et Fournitures d'Appareils.

DÉSINFECTION

Matériel sanitaire pour combattre la transmission et la propagation des épidémies. — Etuves à désinfection fixes et locomobiles par la vapeur sous pression. — Pulvérisateurs pour la désinfection des parois et celle des objets ne pouvant supporter l'action de la chaleur. — Appareils à stériliser l'eau (système Rouart, Geneste, Herscher), produisant de l'eau débarrassée de tout microbe, potable et digestive.

HERVIER
Ingénieur civil des mines.

ES EXPLOSIONS DE CHAUDIÈRES A VAPEUR

LEURS CAUSES — LEURS EFFETS ET EXAMEN DES MOYENS PRÉVENTIFS

Un volume grand in-8° . . . . 6 fr.

DU MÊME AUTEUR :

ES CHAUFFEURS-MÉCANICIENS

ET LES EXPLOSIONS DE CHAUDIÈRES A VAPEUR

Une brochure grand in-8°. . . . . 1 fr.

J. CALLON
Inspecteur général des Mines.

COURS PROFESSÉS A L'ÉCOLE DES MINES DE PARIS

I. — COURS D'EXPLOITATION DES MINES

3 vol. in-8° et 3 atlas. — Prix. . . 75 fr.

II. — COURS DE MACHINES

3 vol. in-8° et 3 atlas. — Prix. . . 75 fr.

SOCIÉTÉ ANONYME

HUMBOLDT

BUREAUX : 19, Boulevard Haussmann, Paris

MATÉRIEL DE MINE

MACHINES D'EXTRACTION

MACHINES D'ÉPUISEMEN

COMPRESSEURS D'AIR ET VENTILATEURS

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS ET CHARBO

EMPLACEMENT RÉSERVÉ

à

M. DUPUY

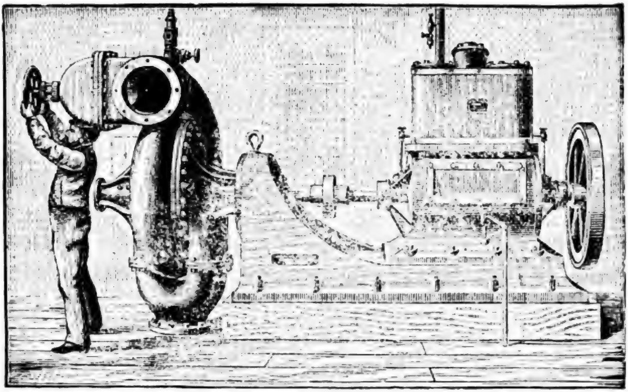
22, rue des Petits-Hôtels, 22

Machine à Vapeur

„WESTINGHOUSE"

PÉCIALE POUR ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

POMPES ET VENTILATEURS



Moteur accouplé directement à une pompe

J. & O. G. PIERSON

54, faubourg Montmartre, 54

PARIS

MAGASIN D'EXPOSITION

47, rue Lafayette, 47

Digitized by Google

En vente à la Librairie DUNOD.

ENCYCLOPÉDIE CHIMIQU

TOME V. — APPLICATIONS DE CHIMIE INORGANIQUE

PARTIE MÉTALLURGIQUE

Généralités sur la Métallurgie et Cuivre, par MM. GRUNER, inspecteur général des Mines, et ROSWAG, ingénieur civil des Mines. 1 vol. in-8° 2

L'Aluminium et ses alliages, par M. WICKERSHEIMER, ingénieur en chef des Mines. 1 vol. in-8° . . . .

Fer et Fonte, par M. BRESSON, ancien directeur de mines et d'usines. 1 vol. in-8°. . . . .

Aciers, par M. BRESSON, ancien directeur de mines et d'usines. 1 vol. in-8°.

Étain. *(Sous presse.)*

Zinc. *(Sous presse.)*

Plomb. *(Sous presse.)*

L'Argent, par M. ROSWAG, ingénieur civil des Mines. 1 vol. in-8°. 2

Désargentation des minerais de Plomb, par M. ROSWAG, ingénieur civil des Mines. 1 vol. in-8°. 2

L'Or, par MM. E. CUMENGE et ED. FUCHS, ingénieurs en chef des Mines.

1re SECTION : *Exploitation et traitement des minerais aurifères.* 1 vol. in-8°. 1

2e SECTION : *Traitement des minerais auro-argentifères.* 1 vol. in-8°. 1

Nickel et Cobalt, par M. VILLON, ingénieur-chimiste, professeur de technologie chimique. 1 vol. in-8° . . . .

Les Souscripteurs à la Partie Métallurgique complète de l'**EN CLOPÉDIE CHIMIQUE** obtiendront un rabais de 10 p. 100 s prix de ces parties séparées.

Des facilités de payement seront accordées à MM. les Ingénieurs et Élèves des Mines.

Digitized by Google

STANISLAS MEUNIER

ÉOLOGIE RÉGIONALE
DE LA FRANCE

1 vol. in-8°. . . . . . 17 fr. 50

COURS ÉLÉMENTAIRE

DE

ÉOLOGIE APPLIQUÉE
LITHOLOGIE PRATIQUE

1 vol. in-8°. . . . . 8 fr.

LES CAUSES ACTUELLES
EN GÉOLOGIE

1 vol. in-8°. . . . . **10 fr.**

DUPONT

Ingénieur en chef des Mines,
Directeur de l'École des mines de St-Étienne.

TRAITÉ PRATIQUE

DE LA JURISPRUDENCE DES MINES
MINIÈRES, FORGES ET CARRIÈRES

3 vol. in-8°. . . 25 fr.

COURS DE LÉGISLATION DES MINES

In-8°. . . . . 15 fr.

Agendas Dunod

A 1 FR. 50

N° 2. Mines et Métallurgie.

N° 4. Arts et Manufactures. Chimie.

A. DAUBRÉE

Membre de l'Institut,
Inspecteur général des Mines en retraite, Directeur honoraire de l'École supérieure des Mines,
Professeur de Géologie au Muséum d'histoire naturelle.

LES EAUX SOUTERRAINES
AUX ÉPOQUES ANCIENNES ET ACTUELLES

3 vol. in-8°. Prix . . . . **50 fr.**

ÉTUDES SYNTHÉTIQUES

DE

GÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE

1 vol. grand in-8°. **37 fr. 50**

SUBSTANCES MINÉRALES

1 vol. in-8° . . . . 5 fr.

Digitized by Google

Digitized by Google

EXPLICATION DES PLANCHES.

OCTOBRE.

Pl. X et XI. — Méthodes d'analyse des fontes, des fers et des aciers.

Digitized by Google

CONDITIONS DE L'ABONNEMENT

AUX ANNALES DES MINES.

Pour Paris. . . . . 20 fr. par an
Pour les Départements. . . franco 24 fr. —
Pour l'Etranger. . . . . . . franco 28 fr. —

Les ANNALES DES MINES paraissent tous les mois.

N. B. — On peut se procurer aux mêmes prix chacune des années parues depuis 1862 inclusivement.

ON TROUVE A LA MÊME LIBRAIRIE

LE PRATICIEN INDUSTRIEL

INTERMÉDIAIRE DE L'INDUSTRIE ET DES ARTS ET MÉTIERS

Journal bi-mensuel rédigé par demandes et par réponses

contenant des informations techniques et des communications diverses au point de vue de l'Industrie, des Travaux publics, des Mines, etc.

Un an, **10** fr. — Six mois, **6** fr. — Trois mois, **3** fr. **50**.

Un numéro spécimen est envoyé gratuitement sur demande affranchie.

GÉOLOGIE. **Essai de géologie expérimentale**, par M. DAUBRÉE, membre de l'Institut, directeur de l'Ecole des mines, professeur de géologie au Muséum d'histoire naturelle. 1 très fort vol. grand in-8° avec vignettes et planches. 37 fr. 50.

— **Les Eaux souterraines**, par le même. 3 vol. in-8°. 50 fr.

— **Substances minérales combustibles.** Minerais métalliques, minéraux utiles à l'industrie, par le même. In-8. 5 fr.

— **Tableaux géologiques des terrains;** par M. DUPONT, ing. en ch. des mines. 5 fr.

— **Cours élémentaire et pratique de géologie;** lithologie pratique, par M. Stanislas MEUNIER, docteur ès sciences, aide-naturaliste au Muséum. Prix. 8 fr.

— **Les Causes actuelles en géologie**, par le même. In-8. 10 fr.

— **Géologie régionale de la France**, par le même. In-8. 17 fr. 50.

— **Revue de géologie**, par M. DELESSE, ingénieur des mines, professeur de géologie à l'Ecole normale, président de la Société géologique, et M. LAUGEL, ingénieur des mines, vice-secrétaire de la Société géologique. Tomes I, II, III. 15 fr.

— **Revue de géologie**, par MM. DELESSE et DE LAPPARENT, tomes IV, V, VI, VII et VIII. 25 fr.

— **Travaux souterrains de Paris.**

I. Etudes hydrologiques du bassin de la Seine. Applications à l'art de l'ingénieur et à l'agriculture, par M. BELGRAND, insp. général des ponts et chaussées. Grand in-8 avec 2 cartes et 81 pl. Prix: 40 fr.

II. Les Aqueducs romains. Grand in-8 et atlas. Prix: 30 fr.

III. Les Eaux anciennes. Grand in-8 et atlas. Prix: 70 fr.

IV. Eaux actuelles. Grand in-8° et atlas. 55 fr.

V. Les Egouts et les Vidanges. Grand in 8° et atlas. 50 fr.

[M]INÉRALOGIE. **Manuel de minéralogie**, par M. DES CLOIZEAUX, maître de conférences à l'Ecole normale supérieure. Le tome I[er], 1 vol. in-8° avec son atlas. 20 fr.

— Tome II, complet. Un volume avec planches. 25 fr.

[C]RISTALLOGRAPHIE. **Cours professé à l'École des mines**, par M. MALLARD, ing. en ch. des mines. Tome I et II. 45 fr.

EXPLOITATION DES MINES. **Cours professé à l'École des mines;** par M. CALLON, insp. gén. des mines. La publication a été achevée par M. BOUTAN, ing. des mines. 3 vol. avec atlas. Prix: 75 fr.

— **Cours professé à l'École des mines** par M. Haton de la Goupillière. 2 vol. in-8. 60 fr.

MÉTALLURGIE. **Cours de métallurgie professé à l'École des mines**, par M. GRUNER, inspecteur général des mines. Principes généraux. — Combustibles. — Fonte, fer et acier.

En vente les tomes I et II, 1[re] partie, 2 gr. in-8 et atlas. 60 fr.

— **Cours de métallurgie**, par M. RIVOT, professeur à l'Ecole des mines. 3 vol. in-8 avec atlas de 40 planches. 55 fr.

Analyse au chalumeau, traduit de l'anglais de M. CORNWAL, par M. THOULET. Grand in-8, relié. 25 fr.

Analyses faites au laboratoire de l'École des mines, de minerais de fer, d'eaux minérales, etc. 3 vol. in-4. 20 fr.

JURISPRUDENCE DES MINES, minières, forges et carrières, à l'usage des exploitants, maîtres de forges, ingénieurs, par M. Etienne DUPONT, ingénieur en chef, directeur de l'Ecole des mineurs de Saint-Etienne. 3 vol. in-8. 25 fr.

COURS DE LÉGISLATION DES MINES, par M. Etienne DUPONT, inspecteur général des mines, professeur de législation, droit administratif et économie industrielle à l'Ecole des mines. 1 vol. in-8°. 15 fr.

CHEMINS DE FER. Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer; par M. C. COUCHE, inspecteur général, professeur du cours de construction et de chemins de fer à l'École des mines. Tome I[er], Voie; tome II, Matériel de transport et Traction; tome III, Production et Distribution de la Vapeur, Freins, Effet utile de la locomotive. 3 vol. in-8 et 3 atlas contenant 151 grandes planches. Prix: 155 fr.

On vend séparément:

Le tome I[er]. . . . . . 35 fr.
Le tome II . . . . . . 85 fr.
Le tome III. . . . . . 50 fr.

PARIS. — IMPRIMERIE E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

Digitized by Google